

高機能複合化金属ガラスを用いた
革新的部材技術開発
プロジェクト事後評価報告書

平成25年9月
産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」を定め、産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価WG（座長：渡部俊也 東京大学教授）の場において、経済産業省が実施する研究開発プロジェクト等の技術評価を実施しているところである。

今般、経済産業省から「高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発」の事業が終了したことに伴い、当該技術分野の省外有識者からなる検討会（座長：桐生昭吾 東京都市大学工学部 教授）が取り纏めた「事後評価報告書（案）」の付議提出があったので、当ワーキンググループにおいてこれを審議し、内容了承することとしたところである。

本書は、上記評価結果及びその審議経過を取り纏めたものである。

平成25年9月
産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会 評価ワーキンググループ
委員名簿

委員長	渡部 俊也	東京大学政策ビジョン研究センター教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学工学研究院グリーン水素研究センター長
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	森 俊介	東京理科大学理工学研究科長 東京理科大学理工学部経営工学科教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部主席研究員

(委員長除き、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材
技術開発プロジェクト事後評価検討会
委員名簿

座長	里 達雄	東京工業大学精密工学研究所 教授
委員	石堂 隆史	日刊工業新聞社編集局第二産業部 部長
	木口 昭二	近畿大学理工学部機械工学科 教授
	澤田 有弘	産業技術総合研究所 ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室 企画主幹
	羽田 昭裕	日本ユニシス株式会社総合技術研究所 所長
	本間 敬之	早稲田大学先進理工学部応用化学科 教授

(敬称略、五十音順)

事務局：経済産業省製造産業局素形材産業室

高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発プロジェクトの
評価に係る省内関係者

【事後評価時】

製造産業局 素形材産業室長 田中 哲也（事業担当室長）

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 飯村 亜紀子

【中間評価時】

（平成21年度）

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
ナノテクノロジー・材料技術開発部

【事前評価時】

（平成18年度）

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
ナノテクノロジー・材料技術開発部

高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発プロジェクト事後評価

審議経過

○第1回事後評価検討会（平成25年1月18日）

- ・評価の方法等について
- ・プロジェクトの概要について
- ・評価の進め方について

○第2回事後評価検討会（平成25年3月5日）

- ・評価報告書(案)について

○産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ（平成25年9月11日）

- ・評価報告書(案)について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ 委員名簿
高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発プロジェクト事後評価検討会 委員名簿
高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発プロジェクトの評価に係る省内関係者
高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発プロジェクト事後評価 審議経過

	ページ
事後評価報告書概要	i
第1章 評価の実施方法	
1. 評価目的	2
2. 評価者	2
3. 評価対象	3
4. 評価方法	3
5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準	3
第2章 プロジェクトの概要	
1. 事業の目的・政策的位置付け	8
2. 研究開発等の目標	15
3. 成果、目標の達成度	23
4. 事業化、波及効果について	66
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	75
第3章 評価	
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	119
2. 研究開発等の目標の妥当性	121
3. 成果、目標の達成度の妥当性	123
4. 事業化、波及効果についての妥当性	125
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	127
6. 総合評価	129
7. 今後の研究開発の方向等に関する提言	131
第4章 評点法による評点結果	134
第5章 評価ワーキンググループのコメント及びコメントに対する対処方針 ...	137
参考資料	
参考資料1 経済産業省技術評価指針	
参考資料2 経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準	
参考資料3 高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発プロジェクト 中間評価報告書（概要版）	

事後評価報告書概要

事後評価報告書概要

プロジェクト名	高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発																							
上位施策名																								
事業担当課	製造産業局素形材産業室																							
<p><u>プロジェクトの目的・概要</u></p> <p>我が国で開発された「バルク金属ガラス」を応用した革新的部材を製作し、多様な工業製品（我が国が強みとしている情報家電産業分野のハードディスク用磁気記録媒体やカードコネクタ、医療機器産業分野のカテーテル用超微小モータ等）に応用することによって、我が国素形材産業の競争力強化と優位性を確保するため、金属ガラスの優れた諸特性（しなやかさ、錆びにくさ等）、磁気特性、塑性加工性、高導電性等の新規特性を付与した高機能複合化金属ガラスを製作する。また、①次世代高密度記録媒体（ハードディスクドライブ）、②超微小モータ用部材、③高強度・高導電性電気接点部材（コネクタ）を開発する。</p>																								
<p>予算額等（委託 及び 補助（補助率：1/2）） （単位：百万円）</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">開始年度</th> <th style="width: 15%;">終了年度</th> <th style="width: 15%;">中間評価時期</th> <th style="width: 15%;">事後評価時期</th> <th style="width: 40%;">事業実施主体</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平成19年度</td> <td>平成23年度</td> <td>平成21年度</td> <td>平成24年度</td> <td>一般財団法人素形材センター、昭和電工(株)、並木精密宝石(株)、福田金属箔粉工業(株)</td> </tr> <tr> <td>H21FY 予算額</td> <td>H22FY 予算額</td> <td>H23FY 予算額</td> <td>総予算額</td> <td>総執行額</td> </tr> <tr> <td>340</td> <td>280</td> <td>339</td> <td>1,800</td> <td>1,832</td> </tr> </tbody> </table>					開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体	平成19年度	平成23年度	平成21年度	平成24年度	一般財団法人素形材センター、昭和電工(株)、並木精密宝石(株)、福田金属箔粉工業(株)	H21FY 予算額	H22FY 予算額	H23FY 予算額	総予算額	総執行額	340	280	339	1,800	1,832
開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体																				
平成19年度	平成23年度	平成21年度	平成24年度	一般財団法人素形材センター、昭和電工(株)、並木精密宝石(株)、福田金属箔粉工業(株)																				
H21FY 予算額	H22FY 予算額	H23FY 予算額	総予算額	総執行額																				
340	280	339	1,800	1,832																				

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

プロジェクト全体を二つのスキームに分け、一つは共通基盤技術研究開発として材料開発、加工基礎技術開発を委託事業として実施。もう一つは、共通基盤技術研究開発の成果を受け、実用化技術研究開発として製品設計、試作及び評価の技術開発を補助事業として実施。これらの事業体制で実施することにより、早期実用化及び事業化を促進する。

(1) 共通基盤技術研究開発（委託事業）

- ① 複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術
- ② 複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術
- ③ 複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術

(2) 実用化技術研究開発（補助（助成）事業）

- ① 次世代高密度磁気記録媒体の開発
- ② 超微小モータ用部材の開発
- ③ 高強度・高導電性電気接点部材の開発

個別要素技術	目標・指標	成果	達成度
①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術	ドット径 9nm程度、ドット間隔 18nm程度 (2Tb/in ² 相当) のナノパターン形成技術を開発し、異方性磁界：15 kOe以下、飽和磁化：500emu/cm ³ 程度となるよう硬磁性粒子と組み合わせる複合化金属ガラス合金を創製し、評価可能な程度の微小サンプルを試作して磁気記録特性を確認する。	・ FIB-CVDとドライエッチングを組み合わせた方法で、ドット径 9nm、ピッチ 18nm (2Tb/in ² 相当) の超高密度パターン金型の試作に成功し、試作金型を用いたインプリント法により金属ガラス薄膜表面にナノパターンの創製に成功した。 ・ 金属ガラスナノパターン上に異方性磁界：15.1 kOe以下、飽和磁化：520emu/cm ³ のCo/Pd多層膜を複合化して磁気記録媒体を試作し、市販磁気ヘッドにて磁気信号の記録・再生・消去が可能なことを確認した。	達成
②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術	1,650MPa以上の圧縮強さと10%以上の塑性伸び（圧縮応力下）を兼備する複合化金属ガラスの創製を行い、直径が0.3mm以下で、寸法精度が±1μm以下の超々精密な遊星歯車等が作製できる基盤技術を開発する。	・ 直径 3mmのZr ₆₅ Al _{7.5} Ni ₁₀ Pd _{17.5} 複合化金属ガラス合金を作製、その圧縮強さは 1,680MPa、圧縮塑性伸びは 17.0%で目標を達成した。 ・ ホブ切りにて、歯先円直径 0.296mm、寸法精度±1μmの遊星歯車の試作に成功した。	達成

		<ul style="list-style-type: none"> ・試作された超々精密遊星歯車を用いてギヤヘッドの組立を実施し、手でスムーズな回転動作を確認した。 	
③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術	1,500MPa以上の引張強さと60%IACS以上の導電率を兼備する複合化金属ガラスの創製を行い、板厚が0.05mm程度で、板幅が50mm以上の精密薄板を作製する。	<ul style="list-style-type: none"> ・引張強さ4,000MPaを超え高強度特性を発現するFe基金属ガラスリボン材に電解銅メッキ加工することで引張強さ1,530MPa、導電率60.1%IACSで、板厚0.05mm、板幅50mmの複合化金属ガラスのクラッド材を新たに開発した。 ・新たに$Cu_{96}Zr_{3.5}Ni_{0.5}$非平衡結晶合金を開発した。引張強さ1,040MPa、導電率40.2%IACSで曲げ加工性に優れた長尺試料（長さ2m、幅50mm、厚さ0.1mm）の作製プロセスを確立し、量産金型を用いた高速打ち抜き・曲げ加工性を実証した。 	達成
①次世代高密度磁気記録媒体の開発	記録密度が $2Tb/in^2$ の超高密度磁気記録媒体の成立性を立証するとともに、実用化に必要な要素技術の検討を完了する。	<ul style="list-style-type: none"> ・共通基盤技術研究開発の成果である複合積層膜の成膜技術をもとに、記録媒体を試作し、スタティックテストを用いた準静的評価を行い、磁気記録情報の書込、消去及び読込が可能であることを確認した。 ・試作媒体を回転させたスピンスタンド評価で、磁気記録情報の読込を動的に確認した。 ・複合化金属ガラスの軟磁性裏打ち層については、現行媒体と比較した場合、磁気ヘッドによる書込幅が広がり記録密度上昇効果が見られなかった。 	達成
②超微小モータ用部材の開発	現状の世界最小ギヤードモータに比し、ギヤの大きさが1/2で、モータ全体の体積を1/3以下にした直径0.9mmの超微小ギヤードモータを開発する。	<ul style="list-style-type: none"> ・Zr基の複合化金属ガラス製の直径0.296mm、寸法精度が$\pm 1\mu m$のホブ切り遊星歯車を用いて、直径0.9mmの2段（36:1）の超微小ギヤードモータの試作に成功した。 	達成

		・ギヤードモータの出力トルク等については、自主目標として掲げていたものに達しなかった。	
③高強度・高導電性電気接点部材の開発	コネクタのピッチが0.1mmもしくは高さが0.5mmの微細カードコネクタを開発する。	・Cu _{93.5} Zr _{5.5} Ag ₁ 非平衡結晶合金粉末を用いて薄板材により微細カードコネクタを試作したが、カードコネクタに必要な接圧力特性が発揮できず、コネクタへの適用は、難しいと判断した。	未達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

1. 情勢変化への対応

富士通(株)のハードディスクドライブ記録媒体事業の譲渡に関する発表(平成21年2月17日)に伴い、富士通(株)での記録媒体に関する研究開発も終息し、本プロジェクトからも平成20年度末をもって撤退することになった。

富士通(株)に代わり昭和電工(株)が、平成21年度から共通基盤技術研究開発に参画し、実用化技術研究開発を平成23年度に実施した。

2. 共通基盤技術研究開発の進捗

複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術を担当する並木精密宝石(株)は、平成22年度までに最終目標を全て達成し、平成21年度から開始していた実用化技術研究開発に平成22年度下期より専念・注力することとした(平成22年11月9日 技術推進委員会)。

3. 実用化技術研究開発の進捗

複合化金属ガラスによる高強度・高導電性電気接点部材の開発を担当する福田金属箔粉工業(株)は、金属ガラス粉末の複合材から薄板材を作製し、カードコネクタを試作評価した結果、コネクタへの適用が困難と判断し、平成22年度末をもって撤退することとした。

<共通指標>

研究開発項目	特許等件数(出願を含む)	論文発表件数	新聞・TV等報道件数	論文発表件数	国際会議等発表件数	国内会議・学会等発表件数	受賞実績件数
①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術	5	93	7	93	111	67	6
②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術	0	0	0	0	9	3	0
③複合化金属ガラスによる高強度・高導電	3	3	0	3	12	19	0

性部材技術							
④次世代高密度磁気記録媒体の開発	0	0	0	0	0	0	0
⑤超微小モータ用部材の開発	0	0	0	0	0	3	0
⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発	0	0	0	0	0	0	0
計	8	96	7	96	132	92	6

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

本事業は、我が国で開発されたバルク金属ガラスを複合化することにより、一層の機能強化と応用技術の開発を事業目的に位置付けていること、さらに、総合科学技術会議の分野別推進戦略に基づくイノベーション創生の中核となる革新的材料技術開発という、国が先導すべき事業であること、以上から高く評価される。

また、国際的に我が国がリードしている金属材料、特に磁性材料関連分野において、その優位性を維持するためにも重要な技術開発であるが、民間企業だけではリスクが高く国が関与し支援することが必要である。従って、事業の目的・政策的位置付けは妥当であると認められる。

一方、共通基盤技術研究開発及び実用化技術研究開発として3つのテーマを設定していることは十分に評価できるが、それぞれのテーマが金属ガラスのどのような構造・特性と具体的に結びつき、事業の目的が達成できるかについては、必ずしも明確でない点がある。

2. 研究開発等の目標の妥当性

事業全体を、共通基盤技術研究開発と実用化技術研究開発の2つに分け、開発項目ごとに設定根拠を明確にしていることから、体制を含めた目標設定は極めて妥当である。また、達成目標は定量化されており、個々の目標水準は、国際競争力の確保の上で極めて妥当な数値であると判断される。

一方、目標設定の背景・意義あるいは優位性等は理解できるものの、各開発項目を優先して行う理由や今後の広がりの中で明確でない点がある。また、「複合化」の狙いや意味するところなど突っ込んだ設定があるとよかった。併せて、目標のすりあわせが十分であったのか検証が必要だと思われる。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

共通基盤技術研究開発は、目標設定値が達成されており、想定以上の成果が得られている。実用化技術研究開発では、一部に未達成なものがあり適用を難しくしているものの、特許出願等で開発技術の優位性が確保できている。

一方、共通基盤技術研究開発の目標の設定値が高かったためと考えられるが、共通基盤技術研究開発に重きが置かれ、早期の技術移転と基盤研究開発等の密な連携が必要な実用化技術研究開発へ

の展開が多少遅れたものと考えられる点がしばしば見られ、目標値の見直しなども積極的に検討すべきであったと考えられる。また、金属ガラスを用いることではじめて実現できたのか、なぜ金属ガラスなのか、また金属ガラスにどのような特性が要求されているのかなどについて、もっと深い検討があるとよかった。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

目標値を概ね達成しており、また、事業化に向けた技術的課題や市場の動向、顧客の要求といったことについても把握しており、今後の取り組みに期待が持てる。また、産学一体の体制で重点的に実施された次世代高密度磁気記録媒体（ハードディスク）への応用と超微小ギヤードモータ用遊星歯車への応用では、本事業の内で試作品の開発に成功している。

一方、事業化に当たっては、一定の性能のものが安定的に製造できること、また、コストに見合う性能を持っていることなどが要件であり、まだ、課題が残されている。また、波及効果に関しては、実用化技術研究開発が3つに厳選されたことから、十分な効果とは言えず、別途並行して他の応用部材・応用分野に関する実用化シナリオの研究も遂行し、我が国が世界をリードする金属ガラスの更なる応用対象の発掘と拡大も、本事業の内で進めるとより広域な波及効果が得られたものと考えられる。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

本事業の構成を共通基盤技術研究開発と実用化技術研究開発に分けてそれぞれ目標を設定し、プロジェクトリーダーのもと、集中研を軸に展開されており、研究のマネジメントや効果的連携の観点から妥当と考えられる。また、資金配分に応じた成果が達成され、妥当な管理がなされたと考えられる。

一方、一部のテーマでは目標が十分に達成できなかった点があり、プロジェクトリーダーの本研究開発への実質的な関与がどの程度可能だったのかは、目標設定、体制の環境を含め、検討・評価する余地があると思われる。

また、資金配分に関し、共通基盤技術研究開発で3つのテーマに分けられているが、特に硬磁性・ナノ構造部材技術に大きな資金配分が行われており、これが研究開発構成上最適だったのか、疑問も残る。併せて、中間評価において期待されていた実用化技術研究開発について、より事業化を加速するための体制作りや資金投入などの配慮がもう少しなされても良かったような印象も受ける。

6. 総合評価

本事業は、我が国の強みである金属材料分野の強化を図るものであり、科学技術分野における国際競争力の維持という面からも重要な課題と言え、また十分な成果が得られたと評価できる。3つの検討対象（次世代高密度磁気記録媒体、超微小モータ用部材、高強度・高導電性電気接点部材）それぞれについて、設定した目標が達成されていると判断される。

なお、我が国が技術シーズを有する金属ガラスの保護という観点からは、本事業で選定された3つの実用化技術研究開発以外にも他の部材や製品への応用可能性の調査とその実用化を想定したシナリオ研究を並行実施すべきであったと考えられる。これにより、金属ガラスの有する材料ポテンシャルと成果波及効果をより一層大きくすることができたものと考えられ、本点は今後の新規支

援事業などに期待される。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

実用化や事業化を視野に入れた、代替的なアプローチを含めた体系的な思考にもとづく研究開発事業を再考する必要がある、全体的なシステムにおける位置付けを明確にして、目標を設定することで、実用化への有効性を明らかにできると思料する。研究開発事業の実施に当たっては、産業界のニーズを見越した中堅・中小企業を交ぜ領域横断的な研究開発アプローチで進める方向が望ましく、研究開発事業で開発された高度な技術を如何に高スループットかつ安価に提供できるか、といった生産技術面の検討が重要と思われる。特に、実用化技術研究開発においては、医療や環境、エネルギーといった成長性の高い分野にアプローチするよう政策誘導してもらいたい。

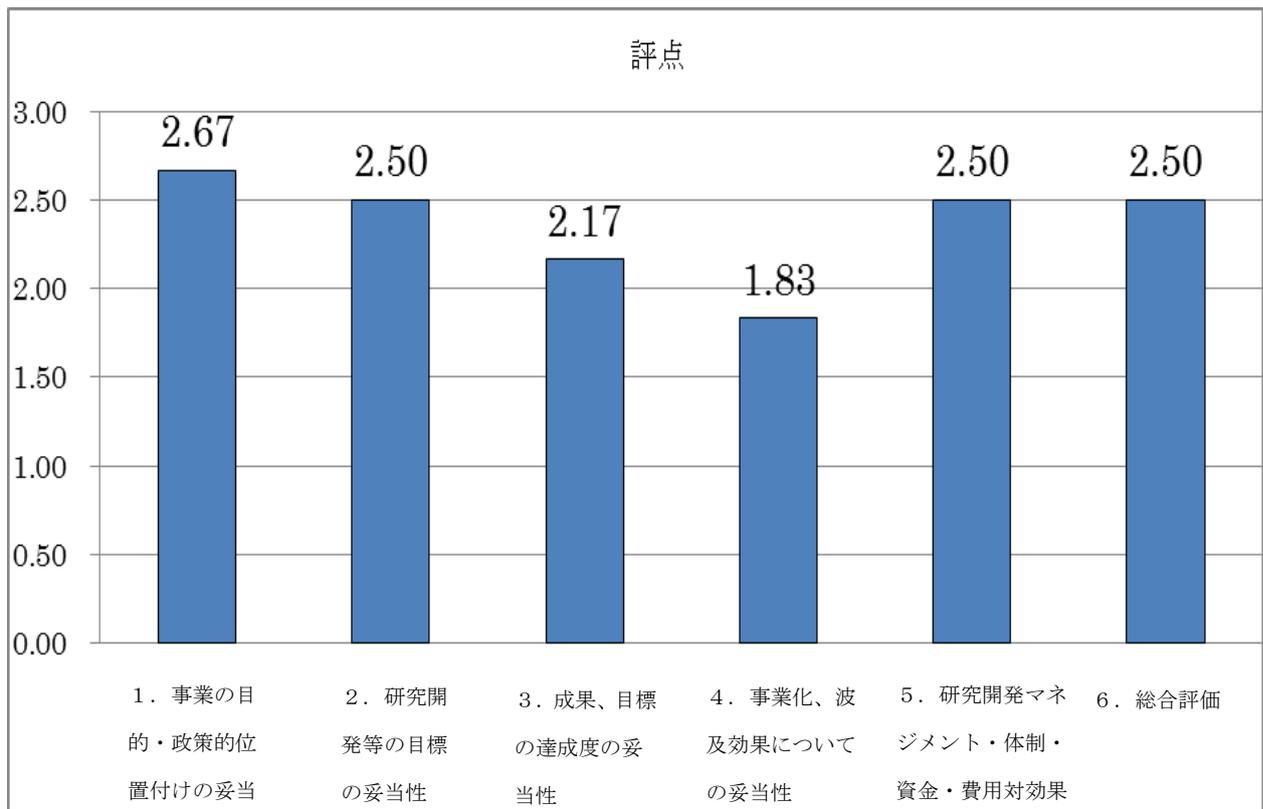
研究開発事業が長期にわたる場合は、必ずしも期初の目標にこだわることなく、各種の評価を経て、市場の変化に柔軟に対応することが必要であると考え。また、実用化に求められる資金やマンパワー等資金配分も含め道筋を立て変化に柔軟に対応することが肝要である。

評点結果

評点法による評点結果

(高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.67	3	3	2	2	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.50	3	3	2	2	3	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.17	2	3	2	2	2	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.83	2	2	1	1	3	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.50	3	3	2	2	3	2
6. 総合評価	2.50	3	3	2	2	3	2



第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針」(平成21年3月31日改定、以下「評価指針」という。)に基づき、以下のとおり行われた。

1. 評価目的

評価指針においては、評価の基本的考え方として、評価実施する目的として

- (1) より良い政策・施策への反映
- (2) より効率的・効果的な研究開発の実施
- (3) 国民への技術に関する施策・事業等の開示
- (4) 資源の重点的・効率的配分への反映

を定めるとともに、評価の実施にあたっては、

- (1) 透明性の確保
- (2) 中立性の確保
- (3) 継続性の確保
- (4) 実効性の確保

を基本理念としている。

プロジェクト評価とは、評価指針における評価類型の一つとして位置付けられ、プロジェクトそのものについて、同評価指針に基づき、事業の目的・政策的位置付けの妥当性、研究開発等の目標の妥当性、成果、目標の達成度の妥当性、事業化、波及効果についての妥当性、研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性の評価項目について、評価を実施するものである。

その評価結果は、本プロジェクトの実施、運営等の改善や技術開発の効果、効率性の改善、更には予算等の資源配分に反映させることになるものである。

2. 評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、プロジェクトの目的や研究内容に即

した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある6名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省素形材産業室が担当した。

3. 評価対象

高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発（実施期間：平成19年度から平成23年度）を評価対象として、経済産業省から提出されたプロジェクトの内容・成果等に関する資料及び説明に基づき評価した。

4. 評価方法

第1回評価検討会においては、経済産業省からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第2回評価検討会においては、それらを踏まえて「プロジェクト評価における標準的評価項目・評価基準」、今後の研究開発の方向等に関する提言等及び要素技術について評価を実施し、併せて4段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準

評価検討会においては、経済産業省産業技術環境局技術評価室において平成21年6月1日に策定した「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準について」のプロジェクト評価（中間・事後評価）に沿った評価項目・評価基準とした。

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

- (1) 事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。
 - ・事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
 - ・事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）
 - ・社会的・経済的意義（実用性等）
- (2) 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。

- ・国民や社会のニーズに合っているか。
- ・官民の役割分担は適切か。

2. 研究開発等の目標の妥当性

- (1) 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。
- ・目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。
 - ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

- (1) 成果は妥当か。
- ・得られた成果は何か。
 - ・設定された目標以外に得られた成果はあるか。
 - ・共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。
- (2) 目標の達成度は妥当か。
- ・設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

- (1) 事業化については妥当か。
- ・事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。
- (2) 波及効果は妥当か。
- ・成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
 - ・当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

- (1) 研究開発計画は適切かつ妥当か。
- ・事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。
 - ・採択スケジュール等は妥当であったか。
 - ・選別過程は適切であったか。
 - ・採択された実施者は妥当であったか。

- (2) 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。
- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
 - ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
 - ・目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
 - ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。
- (3) 資金配分は妥当か。
- ・資金の過不足はなかったか。
 - ・資金の内部配分は妥当か。
- (4) 費用対効果等は妥当か。
- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
 - ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。
- (5) 変化への対応は妥当か。
- ・社会経済情勢等周辺の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
 - ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 総合評価

第2章 プロジェクトの概要

目 次

1. 事業の目的・政策的位置付け.....	8
1-1 事業の目的.....	8
1-2 政策的位置付け.....	12
1-3 国の関与の必要性.....	14
2. 研究開発目標.....	15
2-1 研究開発目標.....	15
2-1 研究開発目標.....	15
2-1-1 個別要素技術の目標.....	15
3. 成果、目標の達成度.....	23
3-1 成果.....	23
3-2 特許出願状況等.....	60
3-3 目標の達成度.....	61
4. 事業化、波及効果.....	66
4-1 事業化の見通し.....	66
4-2 波及効果.....	72
5. 研究開発マネジメント・体制等.....	75
5-1 研究開発計画.....	75
5-2 研究開発実施者の実施体制・運営.....	76
5-3 資金配分.....	82
5-4 費用対効果.....	83
5-5 変化への対応.....	84

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

我が国の材料技術は、過去数十年にわたる多くの研究者、研究機関の弛まぬ取組と研究成果の蓄積により、基礎研究から応用研究、素材、部材の実用化に至るまで全ての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国製造業の国際競争力の源泉となっている。また我が国のナノテクノロジーも、1980年代に世界に先駆けて技術の斬新性と重要性を認識して研究に着手したこともあって、現時点において世界トップレベルにある。特に、カーボンナノチューブや酸化チタン光触媒等に代表されるナノ材料の研究が、全体を牽引していることが我が国のナノテクノロジーの特徴であり、いわば材料技術の強みがナノテクノロジーの強みの源泉となっている。

総合科学技術会議の第3期科学技術基本計画の概要においては、『ナノテクノロジー・材料分野はライフサイエンス、情報通信、環境、エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティアなどの分野における科学技術の進歩や課題解決に貢献し、産業の振興や人間の豊かな暮らし、安全・安心で快適な社会などを実現する重要な技術シーズである。また、材料やナノテクノロジーの研究開発がイノベーションを誘発し、結果として人と社会に大きな貢献をもたらしたケースも少なくない。したがって、社会・産業が求める技術課題としての取組と共に、不連続で飛躍的な成果をもたらさうるイノベーション促進型科学技術としての可能性に挑戦していくことも重要である』としている。

金属は、我々の日常の社会生活基盤を支える最も基本的な材料であり、金属材料なくしては現在の高度な人類文明社会の維持・発展は不可能である。ところで、酸化物ガラス等の他の材料には、結晶質と非晶質構造が相補する形で実用材料の発展に貢献してきている。これに対して、有史以来長い間使用されてきた金属材料では、非常に偏った状況で発展してきた。すなわち、3次元形状が利用できる厚みが数mm以上のバルク形状の金属材料においては、実用材料は有史から産業革命を経て1990年頃までの極めて長い間、結晶構造状態のみに限られていた。これは、金属結合物質では融点近傍の高温では構成原子は容易に動くことが出来る結果、融点以下に冷却された過冷却金属液体では、瞬時に平衡状態相である結晶相に変態を起してしまうためであった。1960年にカリフォルニア工科大学の Duwes 教授のグループにより小円薄片の Au-Si 系アモルファス合金が作り出された。金属においても共晶系合金の液体を超急冷することにより、結晶への変態を抑えて液体を室温まで固化凍結シアモルファス化できることが明らかにされた。この発見を契機に、新しい構造相としてのアモルファス金属への興味を持たれ始めた。

1960年代には、Au-Ge-Si、Pd-Si、Pd-Cu-Si、Pd-Ni-P などの貴金属系のアモルファス金属が、ガン法やピストンアンビル法などにより見出された。特

に1968年に米国ハーバード大学のChenとTurnbullは、Au-Ge-Si系でのガラス遷移現象の観測に成功し、金属系合金にも無機ガラスと同様にガラス状態が存在することを明らかにした。ここに、金属においてもガラス状態が存在できることが明らかにされた。続いて、Pd-Cu-Si、Pd-Ni-P、Pt-Ni-P系アモルファス合金も結晶化前にガラス遷移現象を示すガラス金属であることが見出された。

1970年以降、アモルファス合金の研究は、遠心急冷法、単ロール急冷法、プラナー鑄造法などの超急冷技術の開発と共に活発化し大きく発展した。その結果、1960年代後半から約20年間に実用上重要なほとんどすべての金属において、これらの金属を主成分とする2元、3元、4元、5元系合金において超急冷法により、アモルファス相が生成することが見出された。これらの合金の種類は、1,000をはるかに上回っている。しかしながら、1960年代後半からの約20年間明瞭なガラス遷移現象を示すアモルファス合金（ガラス金属と呼ぶことができるもの）は見出されなかった。しかも、これらの新しいアモルファス合金の作製には通常1秒間におよそ百万Kの超急冷速度が必要であり、得られたアモルファス合金の厚さも0.03mm以下の薄いものに限られていた。このため、1960年からの約30年間のアモルファス合金に関する膨大な研究結果から、ガラス金属は、Au、Pd、Ptの貴金属系合金のみに限られるという経験則が広く認識され、他の合金系でガラス金属を得ることは不可能と信じられてきた。また、Pd-Ni-PやPt-Ni-P金属ガラスにおいては、1秒間におよそ1,000Kの冷却速度が得られる水焼入れ法を用いることにより、直径2~3mmまでの丸棒状ガラス合金が得られること、さらに溶湯を B_2O_3 フラックス剤で囲んだ状態で溶解・凝固を繰り返すことにより、直径8mmの球状ガラス合金が得られることも明らかにされた。この溶解・凝固繰り返しによる臨界厚さの増大は、不均一な結晶核生成サイトとして働く不純物の除去効果によるものと理解されていた。

ところが、1988年頃に金属ガラス形成能に関するこのような閉塞状態を打ち破ったブレークスルー的な現象が発見された。東北大学金属材料研究所の研究者らにより、Mg-希土類金属(Lu)-(Ni, Cu)、Ln-Al-(Cu, Cu)及びZr-Al-(Ni, Cu)系のアモルファス合金が結晶化温度(T_x)以下において、ガラス遷移とそれに続く50K以上の大きな温度幅の安定な過冷却液体を示すことが1988年~1990年の3年間に相次いで見いだされた。

貴金属系ガラス合金以外の数多くの合金系において明瞭なガラス遷移とより大きな過冷却液体域を持つことが発見されて以来、アモルファス合金研究は再び活発化した。この過冷却液体の安定化現象を利用することにより、鑄型鑄造法などの通常の冷却速度(1~数百K/s)でも数mm厚さのバルクガラス合金が作製出来ることが実証された。

金属ガラスは、アモルファス合金の中でも明瞭にガラス遷移が観察されるものとして学術的に定義されるが、特に「バルク金属ガラス」とは、融点以下に冷

却された合金の過冷却液体が安定化され、銅鑄型鑄造法で得られえる数百 K/s の通常の冷却速度においても結晶相の析出が抑制され、非晶質相が数mm以上のバルク材として得られるものとして一般的に認知されている。

現在では、単相のバルク金属ガラスのみならず、高核生成頻度・低結晶成長速度が得られる過冷却液体の低温域で結晶や準結晶を均一に析出させたナノ結晶分散バルク金属ガラスやナノ準結晶分散バルク金属ガラスなどが開発され、各相の特徴を組み合わせたガラス相単相、ガラス+ナノ結晶、ガラス+ナノ準結晶、ナノ準結晶単相、ナノ結晶、ナノ準結晶+結晶といった様々な非平衡物質創製へと研究が進展している。

バルク金属ガラスは、1980年代後半に我が国で開発された新合金で、極めて高強度かつ低ヤング率で、耐食性や軟磁気特性にも優れており、21世紀の中核を担う画期的な金属材料として大きく期待されている。無秩序充填構造である金属ガラスの特徴としては、結晶材料に比較して

- 高強度
 - 低ヤング率
 - 高疲労耐久強度
 - ガラス形成能を利用した高延性化
 - 高耐食性
 - 高熱的安定性
 - 優れた軟磁性特性
 - 粘性流動加工特性（インプリント加工）
- 等が挙げられる。

現在、上記の特性を持った金属ガラスの単相合金において、実用化のための研究開発が進められており、その成果により世界トップレベルの製品の実現に目途がつけられてきた。しかし、産業界からは、従来の金属ガラスの諸特性に加え、塑性加工性や硬磁気特性あるいは高電気伝導性等を兼ね備えることができれば、さらに革新的な製品開発が可能になるとの強い要望が出されている。一方、最近の先導研究の結果によれば、金属ガラス母相中に第二相として微結晶や微粒子または微小空隙等を分散させた複合化金属ガラスが、大きな塑性加工性、硬磁気特性あるいは高電気伝導性等を示すことが明らかとなってきた。

この複合化金属ガラスの持つ優れた諸特性（しなやかさ、錆びにくさ等）に、磁気特性、塑性加工性、高導電性等の新規特性を付与した高機能複合化金属ガラスの合金創製を行う。さらに多様な工業製品（我が国が強みとしている情報家電産業分野のハードディスク用磁気記録媒体やカードコネクタ、医療機器産業分野のカテーテル用超微小モータ等）に応用するため、

- ①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術
- ②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術
- ③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術

の共通基盤技術研究開発を実施し、この共通基盤技術で開発した成果をもとに、以下の実用化技術研究開発を実施する。

- 1) 次世代高密度磁気記録媒体の開発
- 2) 超微小モータ用部材の開発
- 3) 高強度・高導電性電気接点部材の開発

以上により、地球温暖化対策への貢献、国際的なイニシアティブの獲得及び我が国素形材産業の競争力強化と優位性を確保する。

1-2 政策的位置付け

(1) 本事業に関連する総合科学技術会議の分野別推進戦略

総合科学技術会議の分野別推進戦略（平成18年3月28日）において、

IV ナノテクノロジー・材料分野

3. 戦略重点科学技術

④イノベーション創生の中核となる革新的材料技術

として次のように記述されている

『True Nano』によって不連続で飛躍的なジャンプアップが実現されても、それによって、科学技術を変革し、産業に大きなイノベーションを引き起こすためには、ナノで得られた成果をマイクロスケールの実用材料にスケールアップすることが必要となる。そのためには、今後5年間において、ナノスケール構造同士を接合する界面や表面の特性・機能の制御と、スケールアップのためのプロセス技術などに集中した研究開発を進めることが必要である。

(2) 本事業に関連する経済産業省の技術戦略マップとイノベーションプログラム

経済産業省では、革新的技術の研究開発を通じて、我が国産業の国際競争力の強化と、我が国を巡る経済、社会的課題の解決を実現すべく、研究開発政策を戦略的に実施するための技術戦略マップとイノベーションプログラムを策定している。

①技術戦略マップ

経済産業省は、産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備、産学官における知の共有と総合力の結集及び国民理解の増進を実現するために技術戦略マップを策定している。技術戦略マップ2010（平成22年6月経済産業省）の「部材分野」の導入シナリオにおいて、『情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」のひとつ⑤材料・部材領域において、次のように記載されている。

『極めて広範囲な産業領域に波及する材料・部材領域についてユーザー製造業等との連携（川上・川下連携）を促進し、高度な部材産業群の「すり合わせ力」を一層強化』



出所：技術戦略マップ2010（P.251）

図1. ナノテクノロジー・部材 部材分野の導入シナリオ

②部材分野の技術マップ

「技術戦略マップ2010」には、部材分野/情報家電あるいは環境・エネルギー分野等において、記録部材、実装部材あるいは駆動用部材として次のように記述されている。

情報家電分野

2-06-01	記録部材	新規不揮発性メモリー	高容量、信頼性	無機系不揮発性メモリー、フォトクロミック有機分子
2-06-02		超高密度ハードディスク、大容量光ディスク	表面化学特性制御、磁気特性制御(高磁化特性、軟磁性特性等)、高機械特性発現、均一薄膜形成、高比剛性(低モーメント性)、微細転写性	ケイ素系基板適合低誘電率材料、マグネシウム精密鍍造部、 磁気記録材料(高機能複合化金属ガラス)

(磁気記録材料 (高機能複合化金属ガラス) (P. 333))

2-03-01	実装部材	封止、接着部材	加熱剥離防止、外部衝撃緩衝、非吸水性	熱膨張率制御複合材料、有機材料、分子配向性有機無機複合水/バリア材料
2-03-02		基板部材	高周波配線対応、耐熱性向上、平滑性、親和性(界面制御)、高精度性	セラミックス、無機有機複合、環状・縮環系耐熱樹脂、複合材料、有機材料
2-03-03		高リサイクル・環境適応部材	リサイクル性、審美性、電磁波遮蔽性、有害物質非含有	高機能軽量筐体(マグネシウム・チタン)、有機系電磁波吸収材、Cr-freeハンダ、Be-free銅合金(高機能複合化金属ガラス)

(Be-free 銅合金 (高機能複合化金属ガラス) (P. 332))

環境・エネルギー分野等

4-11-01	ロボット	骨格用構造材	高弾性、強靱性、高比剛性、高比強度	バネ材料(金属材料、高分子材料)、軽量骨格材料(セラミックス、有機無機複合材料)、重量骨格材料(金属材料、セラミックス) 軽量金属(マグネシウム・チタン)構造部材
4-11-02		駆動用部材	繰返特性・高出力、超微細駆動制御、圧電変換、高速応答性、低ヒステリシス性、圧電変換機能	高弾性変形、自己修復材料、ソフトマテリアル材料、形状記憶合金人工筋肉(ニッケル・チタン等)、圧電変換材(高分子材料)、 超微小ギア(高機能複合化金属ガラス)

(超微小ギア (高機能複合化金属ガラス) (P. 342))

本事業は、これらを受けて、複合化金属ガラスの合金創製と特性制御により、従来の金属ガラス単相合金が適用できなかった新規用途の開拓を世界に先駆けて実施するとともに、高機能の複合化金属ガラスを用いた革新的部材の早期実用化・事業化を促進するものであり、本事業の実施は、政策的意義もさることながら社会的、経済的意義も十分に大きい。

1-3 国の関与の必要性

本事業は、ナノテクノロジー・材料分野の技術戦略マップで示されている情報家電分野、環境・エネルギー分野等において、部材としての出口である最終製品に求められる機能、性能等を研究開発目標として、それを達成する部材やその製造・開発に必要な共通基盤技術及び実用化技術を開発するものである。

一方で、基礎的段階にあり実用化までに長期間を必要とする研究開発、リスクの高い研究開発、産学官の領域を超えた知の集約や大型研究施設の利用等を必要とする大規模な研究開発や、環境保全や国民の安全・安心といった社会性の強い出口を想定した研究開発等に対しては、産業的に有望な課題であっても民間の研究開発投資が及びにくく、民間のイノベーションを誘発する意味からも国の関与が必要である。

したがって、本事業の実施は、ナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進するものであり、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とするため、国が主導して取り組むべき事業である。

2. 研究開発目標

2-1 研究開発目標

プロジェクト全体を二つのスキームに分け、一つは共通基盤技術研究開発として材料開発、加工基礎技術開発を委託事業として行い、もう一つは、この共通基盤技術研究開発の成果を受け、実用化技術研究開発として製品設計、試作及び評価の技術開発を補助事業として行う。これらの事業体制で実施することにより、早期実用化及び事業化を促進する。

【共通基盤技術研究開発】 [委託事業]

- ① 複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術
- ② 複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術
- ③ 複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術

【実用化技術研究開発】 [補助（助成）事業]

- ① 次世代高密度磁気記録媒体の開発
- ② 超微小モータ用部材の開発
- ③ 高強度・高導電性電気接点部材の開発

2-1-1 個別要素技術の目標

(1) 共通基盤技術研究開発

① 複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術

i. 硬磁性複合化金属ガラスの合金創製

金属ガラス母相の一部結晶化やスパッタリングによる複合化で硬磁気特性を付与され、かつ優れた粘性流動加工性を有する複合化金属ガラスの合金創製を行う。

【最終目標（平成23年度末）】

1平方インチ当り2テラビット (Tb/in²) の密度で、異方性磁界を15キロエルステッド (kOe) 以下、飽和磁化を500エレクトロマグネチックユニット毎立法センチメートル (emu/cm³) 程度とする磁性ドットが作製可能な複合化金属ガラス合金を創製する。

ii. 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術の開発

金属ガラスの粘性流動加工性を利用してこれを被転写材として用い、別途開発する超微細パターンの金型により、直接ナノインプリントすることで極めて高密度かつ高精度のナノパターンを形成するための基盤技術研究開発を行う。

【最終目標（平成23年度末）】

ドット径を9nm程度、ドット間隔を18nm程度とし、密度が2Tb/in²となるナノパターン形成技術を開発し、上記の最終目標で合金創製する硬磁

性複合化金属ガラスを用いて、評価可能な程度の微小サンプルを試作して、磁気記録特性を確認する。

【設定理由】

磁気記録媒体は、軟磁性裏打ち層、非磁性層、硬磁性層及び保護膜層からなる複合積層膜で成り立っている。超高密度磁気録媒体用の軟磁性金属ガラス、ナノインプリント等で超高密度パターン成形を可能とする粘性流動加工性を有する非磁性金属ガラスの合金創製技術が確立できれば次世代超高密度磁気記録媒体の創製が可能となる。

技術戦略マップの中のストレージ・メモリ分野の技術ロードマップ（技術戦略マップ2010）では、磁気記録媒体の記録密度は、平成22年度に600Gb/in²、平成26年度には2Tb/in²と策定されている。ハードディスクの実用化には、コストも含めた生産技術を確認する必要がある、このためには実用化時期より遅くとも数年前には基礎的な研究開発を完了させておく必要がある。この知見に基づき、平成23年度末で2Tb/in²を達成できる微小な磁性粒子において、十分な磁気記録特性を持ち、かつ高精度な成形性を有する複合化金属ガラス合金を創製することを目標とした。

また、作製したドット密度に応じて、隣接したパターン間の磁氣的干渉や熱揺らぎの問題に抗して安定な磁気記録を可能とするため、目標とする異方性磁界及び飽和磁化が必要と算出した。



(技術戦略マップ2010 (P. 84))

図2. ストレージ・メモリ分野の技術ロードマップ

磁性媒体の磁気記録密度の技術ロードマップを考慮して、平成23年度末で2Tb/in²(ドット径:9nm程度、ドット間隔:18nm程度)を達成できる微小

な磁性粒子において、これらをインプリント加工できる超微細金型の加工技術及び金属ガラスを被転写材としたインプリント技術の開発とともに、これらの技術を組み合わせて作製した微小サンプルを用いて磁気特性を確認することを目標とした。

【妥当性・根拠等】

進展の著しい情報化社会において、情報ストレージは、需要が益々増大するとともに高密度化しており、 $1\text{Tb}/\text{in}^2$ を超える次世代の高密度磁気記録媒体の開発・実用化が急がれている。現在は、ハードディスク等の磁気記録媒体を従来の面内記録方式から垂直記録方式へ転換することにより高記録密度化が図られている。しかし、垂直記録媒体として用いられているグラニューラ媒体は、粒子配列が不規則なため超高密度化には限界があり、さらに磁性粒子が隣接しているため、記録密度が $1\text{Tb}/\text{in}^2$ を超えるようになると、熱揺らぎの影響により記録が不安定となる問題がある。

このため、 $2\text{Tb}/\text{in}^2$ の密度でも熱揺らぎの問題に対して対処可能とする、異方性磁界を 15kOe 以下、飽和磁化を $500\text{emu}/\text{cm}^3$ 程度とする磁性ドットが作製可能な複合化金属ガラス合金を創製することとする。

$1\text{Tb}/\text{in}^2$ を超える次世代型の媒体技術としてビットパターンドメディア（以下、「BPM」とする。）が注目されている。BPMは、人工的に規則正しく磁性粒子を並べたもので、超高密度化が可能であり、しかもそれぞれの磁性粒子が一定の距離を保って独立しているため、熱揺らぎの影響を受け難い。検討されているBPMの作製法には、スパッタ膜のエッチング、ナノホール形成、イオン注入等の方法があるが、いずれも幾何学的パターン精度及び製造コストの面で課題が多い。

金属ガラスは、ガラス転移現象を示す非晶質金属であり、数 100°C に熱するとガラス固体が過冷却液体に遷移し、優れた粘性流動加工性を示す。このような状態の金属ガラスを被転写材として、別途開発する超微細パターンの金型により、直接ナノインプリントすることで極めて高密度かつ高精度のナノパターンを効率よく作製することができる。さらに、このナノパターンに対し、金属ガラス相の一部結晶化やスパッタリング等による複合化で硬磁気特性を付与することにより、 $1\text{Tb}/\text{in}^2$ を超える高密度磁気記録媒体を高精度かつ低コストで作製できる可能性がある。

本プロジェクトでは、これらの課題を克服する複合化金属ガラス合金を創製し、高密度磁気記録媒体の微小サンプルを試作して、記録密度が $2\text{Tb}/\text{in}^2$ のBPMの実現を可能とするものとした。

② 複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術

i. 高強度・可塑性複合化金属ガラスの合金創製

高強度な金属ガラス母相中に微細な結晶粒子を析出分散させることで塑性変形能を付与した複合化金属ガラスの合金創製を行う。

【最終目標（平成23年度末）】

圧縮強さが1,650MPa以上で、圧縮応力下での塑性伸びが10%以上の複合化金属ガラスの合金創製を行う。

ii. 超々精密ギヤ等の成形技術の開発

高強度・可塑性複合化金属ガラスの塑性変形能を利用した超精密プレス等による超々精密ギヤ等の成形のための基盤技術を開発する。

【最終目標（平成23年度末）】

直径が0.3mm以下で、寸法精度が $\pm 1\mu\text{m}$ 以下の超々精密な遊星歯車等が作製できるような基盤技術を開発する。

【設定理由】

金属製歯車材料には、適用する製品に応じた加工性と強度（圧縮あるいは引張強さ）が求められる。これまでの研究から、単相金属ガラスは熔融状態からのネットシェイプ成形のみで炭素鋼の2倍以上の高い引張強さ1,500MPaを発現することが明らかとなっており、単相金属ガラスを用いた精密ギヤが卓越した耐摩耗性（高疲労耐久強度）を発揮することは実証されている。

このことから、本プロジェクトで合金創製する複合化金属ガラスの強度目標は、単相金属ガラスと同程度の1,650MPaとした。また、本プロジェクトで合金創製する複合化金属ガラスは、単相金属ガラスの組成伸び限界値が約2%であること、十分な塑性変形能を有し精密プレス成形で破壊することなく歯形が加工可能であることから、圧縮応力下での塑性伸びを10%以上とし、後加工により寸法精度の更なる向上行い、ギヤ成形が可能であると見積もった。

実用化技術で開発を目指す直径0.9mmの超微小ギヤードモータ用ギヤボックスの基本的な設計検討から、遊星ギヤ等の直径は0.3mm以下である必要がある。また、現在の直径1.5mmのギヤードモータの設計を展開し、ギヤボックスの試作組立性を考慮すると、遊星ギヤ等の寸法精度は $\pm 2\mu\text{m}$ 以下である必要がある。また、超微小ギヤードモータの製品化を見極めるためには、最終段階で寸法精度を $\pm 1\mu\text{m}$ 以下にして、量産時の組立安定性及び長期信頼性を評価し、品質及び生産コスト等の見通しを得る必要がある。

【妥当性・根拠等】

金属ガラスは高強度かつ耐摩耗性に優れ、さらに、結晶粒界に伴う凹凸がないため表面が極めて滑らかである。また凝固過程での結晶化に伴う体積収縮が少ないため、精密射出成形等により極めて高精度なネットシェイプ成形も可能である。これまでの金属ガラスの実用化研究においては、上述の特徴を活かして超精密ギヤ等の開発が進められており、これまでに直径1.5mmの世界最小ギヤードモータが試作され、内視鏡やカテーテル等の医療用機器を中心にその製品適用が進められている。

一方、高性能化の著しいマイクロ機器の分野では、直径1.5mmを下回るさらに微小なモータが求められている。例えば、自動マイクロマニピュレーションシステムにおいては、細胞加工処理やDNA操作等に用いられる装置の駆動源として、また、先端医療機器においては、末梢血管に挿入可能な極めて細径のロータブレードやカテーテル内視鏡に装着される種々の検査機器の駆動源や、さらに血液循環を補助するマイクロポンプとして超微小ギヤードモータの開発ならびに実用化の期待が大きい。

これらの超微小ギヤードモータの開発には、現在の直径1.5mmのギヤードモータに用いられている超精密ギヤの直径（約0.6mm）をさらに1/2程度にした超々精密ギヤ等が必要である。また、ギヤードモータを長時間安定に動作させるためには、この超々精密ギヤ等の寸法精度は、従来では困難なレベルの厳しい値が要求される。現在の超精密ギヤ等は、単相の金属ガラスを用い、高温の熔融状態から直接鋳型に注入する射出成形法で作製されている。しかしながら、本作製方法では温度差が大きいため熱収縮の影響が問題となり、本プロジェクトが目標とする超々精密ギヤ等の微小な寸法や厳格な寸法精度を達成することが困難である。従って、射出成形等の高温プロセスではなく、比較的低温で微小な寸法を厳格な精度で実現するため、金属ガラスに塑性変形能を付与した複合化金属ガラス合金を創製し、これを用いて超精密プレス等により超々精密部材が作製できるような基盤技術の構築が必要である。

このため、本プロジェクトでは金属ガラス相中に微細な結晶粒子を析出分散させることで、金属ガラスの均質な組織に起因する急激な局所的せん断すべり変形を阻止して塑性変形能を付与した複合化金属ガラス合金を創製する。また、複合化金属ガラスの塑性変形能を利用した超精密プレス等により、比較的低温で微小な寸法のギヤ等を厳格な精度で作製するための基盤技術を開発するものとした。

③ 複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術

i. 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製

粉末圧延法等により高強度な金属ガラス母相中に極微小な高導電性の粒子やフィラーを分散複合化させる、あるいはクラッキング等の方法によ

り金属ガラスと高導電性材料を複合化させることで、銅ベリリウム合金を凌駕する強度と電気伝導性を併せ持つ複合化金属ガラスの合金創製を行う。

【最終目標（平成23年度末）】

引張強度が1,500MPa以上で、導電率が60%IACS(International Annealed Copper Standard)以上の複合化金属ガラスの合金創製を行う。

ii. 精密薄板作製技術の開発

高強度・高導電性複合化金属ガラスを用いた精密圧延による精密薄板作製の基盤技術を開発する。

【最終目標（平成23年度末）】

板厚が0.05mm程度で、板幅が50mm以上の精密薄板を作製する。

【設定理由】

現在、各種コネクタの電気接点部材は、主として銅ベリリウム合金で造られている。銅ベリリウム合金は、強度と導電性に優れた材料であるが、次世代型の超小型コネクタ用としては強度及び導電性がともに不十分とされている。従って、金属ガラスをコネクタ用接点部材として適用すれば現状製品を凌駕する小型化・高性能化が可能と考えられることから、銅ベリリウム合金に匹敵する引張強さ1,200MPaと導電率30%IACSを有する複合化金属ガラスの合金創製を行うこととした。また、最終目標は、銅ベリリウム合金を凌駕する引張強さ1,500MPaと導電率60%IACSを有する複合化金属ガラスの合金創製を行うこととした。

さらに、エレクトロニクス機器の小型化要求に応えるため、現状の携帯電話等に用いられている小型カードコネクタのピッチもしくは高さを現状の2/3にすることが可能な高精度の薄板を作製する。さらに、最終目標では、ピッチもしくは高さを現状の1/2にすることが可能な高精度の薄板を作製することとした。

【妥当性・根拠等】

近年、パソコンや携帯電話をはじめとするエレクトロニクス機器の小型化、高性能化の進展が著しい。このため、これらの機器に多用されている各種コネクタに対する要求仕様は益々厳しくなっており、特に超小型化と一段の耐久性能向上におけるニーズに応えることが急務となっている。例えば携帯電話等に用いられているカードコネクタのピッチは、材料の強度から0.2mmが限界となっているが、これを0.1mmピッチにすることができれば、コネクタの幅が半分になり、かつ厚みも大幅に減少させることができる。

一方でコネクタ用電気接点部材に用いられている銅ベリリウム合金は、次世代型の超小型コネクタ用としては強度及び導電性がともに不十分と

されている他、法規制はされていないもののベリリウムは人体に対し有害物質であるという懸念、リサイクル及び環境問題への対応から銅ベリリウム合金の特性を凌駕する代替材料の開発が望まれている。

金属ガラスは、銅ベリリウム合金を大きく上回る強度を持つとともに弾性にも富んでいることから、コネクタ用接点部材として適用すれば現状製品を凌駕する小型化・高性能化が可能と考えられる。しかしながら、金属ガラスの電気抵抗は、無秩序な原子配列が原因で、通常の結晶性銅合金の約2倍と大きく、そのままでは電気接点部材としては適さない。

そこで本プロジェクトでは、粉末圧延法等により金属ガラス相中に極微小な高導電性の粒子やフィラーを分散複合化させる、あるいはクラッキング等の方法により金属ガラスと高導電性材料を複合化させることで、強度及び導電率がともに銅ベリリウム合金を凌駕する特性を持った新たな複合化金属ガラス合金を創製する。さらにこの複合化金属ガラス合金を用いて、精密圧延により次世代の超小型コネクタ用電気接点部材が成形可能な薄板を作製するための基盤技術を開発する。

(2) 実用化技術研究開発

① 次世代高密度磁気記録媒体の開発

【最終目標（平成23年度末）】

記録密度が $2\text{Tb}/\text{in}^2$ の超高密度磁気記録媒体の成立性を立証するとともに、実用化に必要な要素技術の検討を完了する。

【設定理由】

$2\text{Tb}/\text{in}^2$ を超える次世代の高密度磁気記録媒体の開発・実用化が急がれている。 $1\text{Tb}/\text{in}^2$ を超える次世代の媒体技術としては、パターンドメディアが、最も高密度、高精度かつ低コストで作製できる可能性が高いため、早急に実用化技術を確立する必要がある。

② 超微小モータ用部材の開発

【最終目標（平成23年度末）】

現状の世界最小ギヤードモータに比し、遊星歯車の大きさが $1/2$ で、モータ全体の体積を $1/3$ 以下にした、直径 0.9mm の超微小ギヤードモータを試作し、実用化を目指した性能評価を完了する。

【設定理由】

直径 1.5mm のギヤードモータのサンプルを国内・米国の医療機器メーカーにて提供し、実装評価を依頼しているところ、DCA (Directional Coronary Atherectomy: 動脈硬化部位切除術) カテーテル、OCT (Optical Coherence Tomography: 光波干渉断層画像化法) 内視鏡、超

音波内視鏡について、超微小ギヤードモータの搭載が検討されている。さらに小径である直径1mm以下のギヤードモータが供給できれば、より末梢の血管、あるいは心臓の冠状動脈のように大きく湾曲しているような血管に対して、自在なカテーテル操作により患部までギヤードモータが到達し、治療・検査・診断が可能となるとされている。

金属ガラスを用いた超微小ギヤードモータは、世界的にも、本プロジェクトが先行しており、他に類をみない。直径1mm以下のギヤードモータの開発に成功すれば、世界の中で他社の追従を許さないオンリーワンの製品となると想定している。

高度化の著しいマイクロ機器の分野では、超微小ギヤードモータの開発と、その実用化への期待が大きい。このため、複合化金属ガラスを用いてこれらの超微小ギヤードモータ用の超々精密ギヤを開発し、超微小ギヤードモータを試作して、早急に応用分野への展開を図る必要がある。

③ 高強度・高導電性電気接点部材の開発

【最終目標（平成23年度末）】

コネクタのピッチが0.1mmもしくは高さが0.5mmの微細カードコネクタを試作し、実用化を目指した性能評価を完了する。

【設定理由】

近年、携帯電話等に用いられている小型カードコネクタに対する小型化・高性能化の要求がますます高まっている。複合化金属ガラスを用いて、高強度と高導電性を併せ持つ接点部材を開発し、コネクタのピッチもしくは高さが従来の1/2の微細カードコネクタを試作して、早急に応用分野への展開を図る必要がある。

また、コネクタの電気接点部材の不具合が大事故を誘発する事例はしばしば見受けられる。優れた強度機能性を保持する部材の開発は、安全な国民生活や安定した経済社会の維持に大きく貢献する。現在、これを満たすものとして、各種コネクタの電気接点部材に銅ベリリウム合金が開発され適用されている。しかし、銅ベリリウム合金のベリリウムは国際がん研究機関(IARC)等が発ガン性を示す可能性があるとの評価をしており、銅ベリリウム合金製造・廃棄の際に環境面での問題が指摘されている。また、RoHS指令やREACH規制等の法規制はされていないもののベリリウムは人体に対し有害物質であるという懸念、リサイクル及び環境問題への対応から、特にヨーロッパでは銅ベリリウム合金の特性を陵駕する代替材料の開発が強く望まれている。

このため、安心・安全な材料供給の観点からも、コネクタ部材が銅ベリリウム合金からの代替を促進し、デジタル家電機器を初めとして自動車分野等多方面への適用を図る材料開発及び実用化が望まれている。

3. 成果、目標の達成度

3-1 成果

(1) 共通基盤技術研究開発

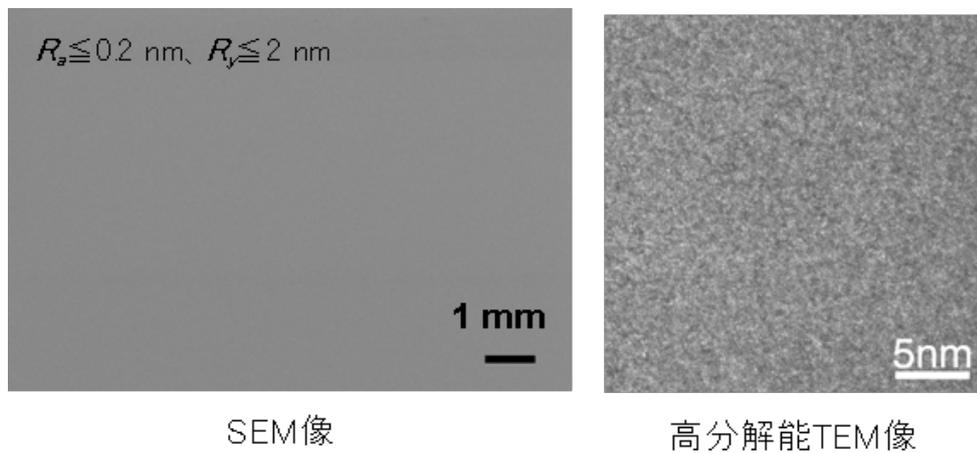
① 複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術

i. 硬磁性複合化金属ガラスの合金創製

I. 軟磁性裏打ち層の成膜

インプリント加工を活用した本プロジェクトの媒体創製プロセスに適した零 λ_s 及び非晶質構造を有する軟磁性裏打ち層の検討を行った。また、後工程の金属ガラスインプリント加工条件での加熱及び加圧処理後の特性変化を評価するとともに、インプリント加工条件に合わせた膜構造の最適化を試み、複合化金属ガラス媒体の軟磁性裏打ち層としての適用可能性を検討し、得られた成果を以下にまとめる。

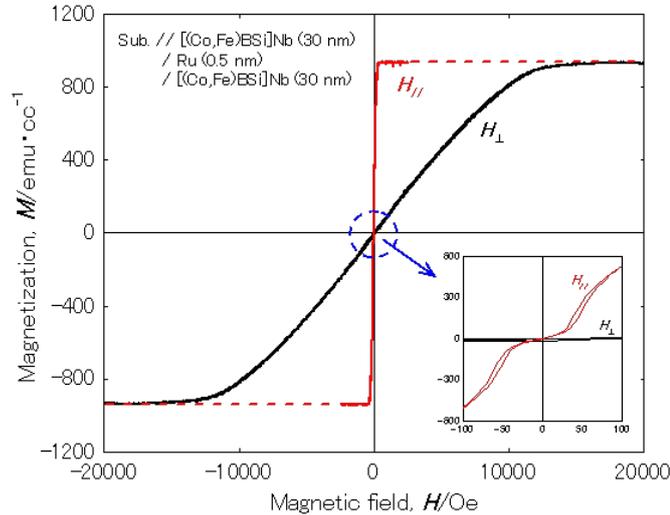
- ・ マグネトロンスパッタリング (MGS) 法によるスパッタ装置により作製したCo-Fe-B-Si-Nb系合金薄膜は、ナノ結晶析出のない非晶質構造を有していることを確認した。また、欠陥のない表面平坦な緻密膜であり、表面平坦性の自主目標を達成した。



図①-1 $[(\text{Co}_{0.94}\text{Fe}_{0.06})_{83}\text{B}_{15}\text{Si}_2]_{99}\text{Nb}_1$ 非晶質合金薄膜の表面像

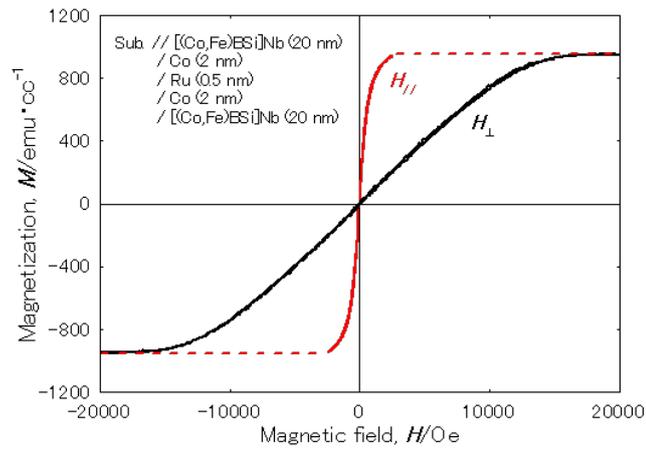
- ・ Co-Fe-B-Si-Nb系合金薄膜は、飽和磁束密度 (B_s) が1.2テスラ (T) 及び磁わい定数として $\lambda_s=4 \times 10^{-7}$ 示し、磁気特性の自主目標を達成した。ただし、単層膜の垂直磁化曲線には媒体ノイズの要因となるヒステリシスの存在を確認した。スパッタ装置内に設置されたほかのターゲットからの漏れ磁場による成膜チャンバ内の磁場分布が磁壁生成の原因であると推察された。
- ・ ノイズ要因となる垂直磁化曲線のヒステリシス改善を目的に、二層の軟磁性薄膜の間にRu膜を挟んだAPC (Anti-Parallel Coupled: 反強磁

性交換結合)型軟磁性裏打ち層を作製した。Ru薄膜の膜厚0.5nmのとき異方性磁界 0.053kOe が得られ、市販媒体の軟磁性裏打ち層より優れた特性を示した。垂直磁化曲線にヒステリシスが認められないことから、媒体ノイズ抑制の可能性が示唆された。

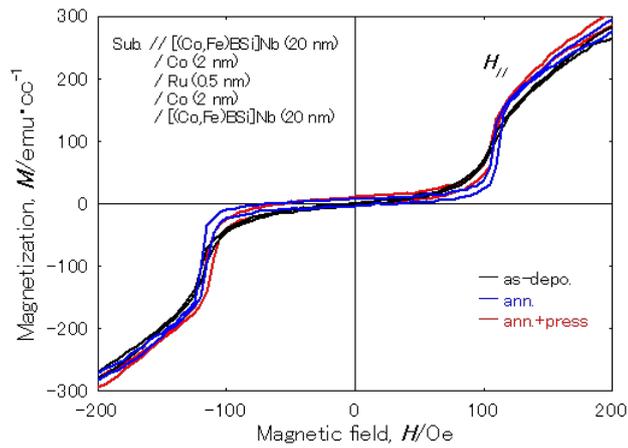


図①-2 ガラス基板上に作製したAPC 型軟磁性裏打ち層のM-H曲線 (Ru膜厚0.5nm)

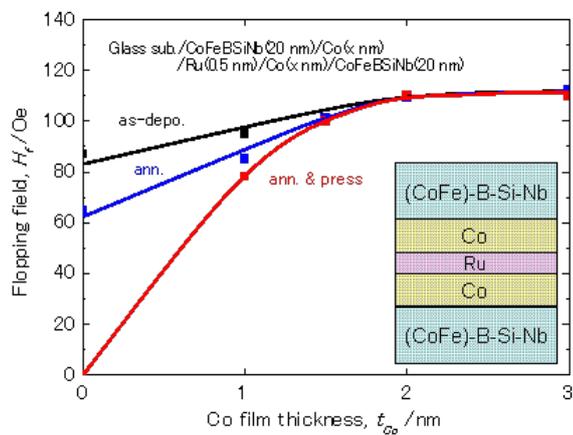
- ・ 後工程の金属ガラスインプリント加工条件で加熱及び加圧処理後の特性変化を評価した。単層膜では特性変化は起こらなかったが、三層のAPC構造では異方性磁界の劣化が認められた。
- ・ インプリント加工条件での処理後の異方性磁界に劣化が認められたので、改善を目的に、軟磁性薄膜とRu薄膜界面に界面歪み緩和層としてCo薄膜を挿入した五層のAPC構造を検討した。Co薄膜の膜厚が2nmのとき、加熱や加圧処理後に特性に変化は認められず、異方性磁界 0.11kOe が得られた。反強磁性的層間結合の増強は界面のCo濃度が高くなったためであると推察された。



図①-3 五層構造のA P C型軟磁性裏打ち層のM-H曲線
(Co-Fe-B-Si-Nb (20nm) / Co (2nm) / Ru (0.5nm) / Co (2nm) / Co-Fe-B-Si-Nb (20nm))



図①-4 加熱及び加圧処理前後の面内磁化曲線の拡大図

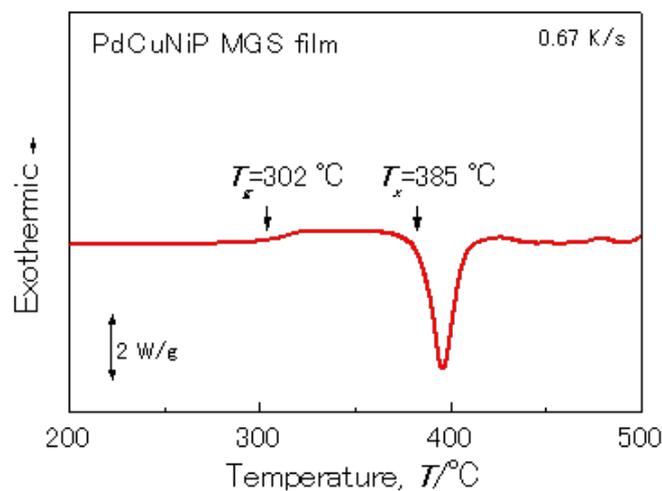


図①-5 Co膜厚の最適化
(Co-Fe-B-Si-Nb (20nm) / Co (xnm) / Ru (0.5nm) / Co (xnm) / Co-Fe-B-Si-Nb (20nm))

II. インプリント層の成膜

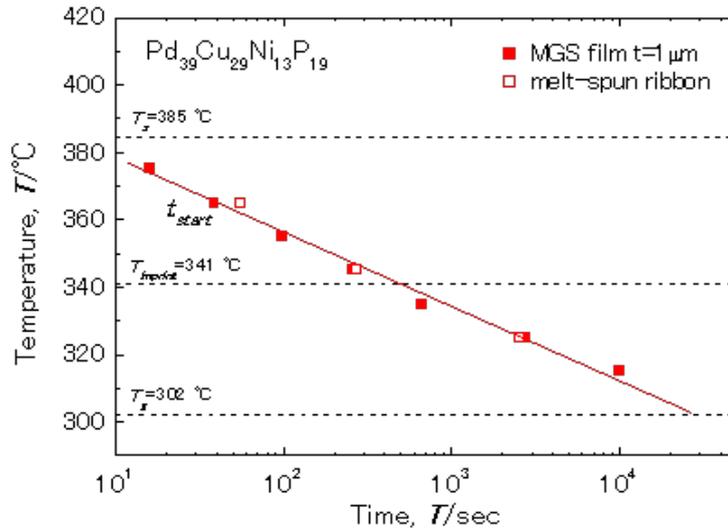
非磁性インプリント層として選定されたPd基金属ガラス薄膜について、MGS法による成膜結果とともに、インプリント加工条件検討に必要な過冷却液体領域での粘性流動挙動及び結晶化挙動の評価を行った結果、得られた成果を以下にまとめる。

- ・ MGS法によるスパッタ装置により作製したPd基合金薄膜は明瞭なガラス遷移現象を有し、インプリント加工の可能性が示唆された。また、成膜ロット、ターゲットロット及び基板によらず、ほぼ同等の組成、熱的性質を示すことを確認した。



図①-6 Pd基非晶質合金薄膜のDSC曲線

- ・ Pd基金属ガラス薄膜は、最小粘性係数(η_{\min})が $10^6\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 台を示すとともに、過冷却液体領域での結晶化潜伏時間は液体急冷材とほぼ同等であり、高い熱的安定性を示すことが明らかとなった。このことから、インプリント加工の長時間化及び高温化等、インプリント加工条件の最適化が可能であることが示唆された。

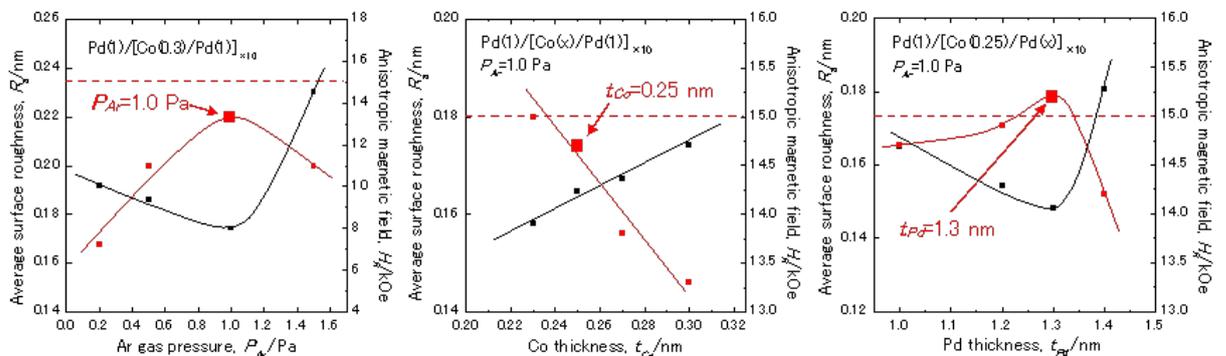


図①-7 Pd₃₉Cu₂₉Ni₁₃P₁₉金属ガラス薄膜及び液体急冷材のTTT図

Ⅲ. 硬磁性層の成膜

硬磁性記録層は、コバルト膜とパラジウム膜の積層膜の適用および最終目標達成を目的に、MGS法により成膜したコバルト膜とパラジウム膜の積層膜（Co/Pd積層膜）の膜構造及び成膜条件の最適化を行った結果、得られた成果を以下にまとめる。

- ・ 成膜時のArの圧力 (P_{Ar})、コバルトの膜厚 (t_{Co})、パラジウムの膜厚 (t_{Pd}) と中心線平均表面粗さ (Ra) 及び異方性磁界 (H_k) の関係を調査した結果、Co/Pd積層膜の表面粗さと異方性磁界には相関があり、より表面粗さが小さい表面であるほど、高い異方性磁界を有することが明らかとなった。また、膜構造や成膜条件を調整することで異方性磁界の制御が可能であることを確認した。

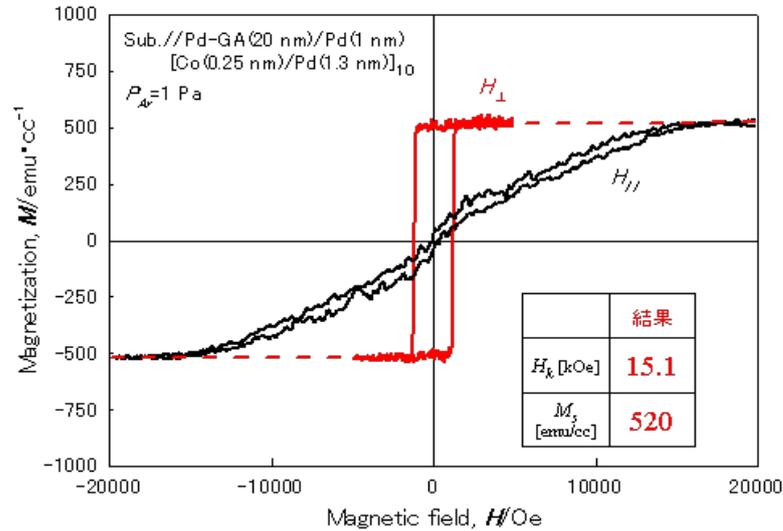


図①-8 Co/Pd積層膜の表面粗さ及び異方性、磁界と成膜パラメータの関係

(Pd(1.0nm)/[Co(xnm)/Pd(ynm)] × 10)

- ・ Pd基金属ガラス薄膜上に下地層を成膜した後、Co 0.25nm及びPd 1.3nm

を交互に各10層、Ar圧力が1.0Pa下で成膜したCo/Pd積層膜において、硬磁性記録層に要求される最終目標の異方性磁界 $H_k \leq 15\text{kOe}$ 及び飽和磁化 $M_s \cong 500\text{emu/cm}^3$ を達成した。



図①-9 Co/Pd積層膜のM-H曲線

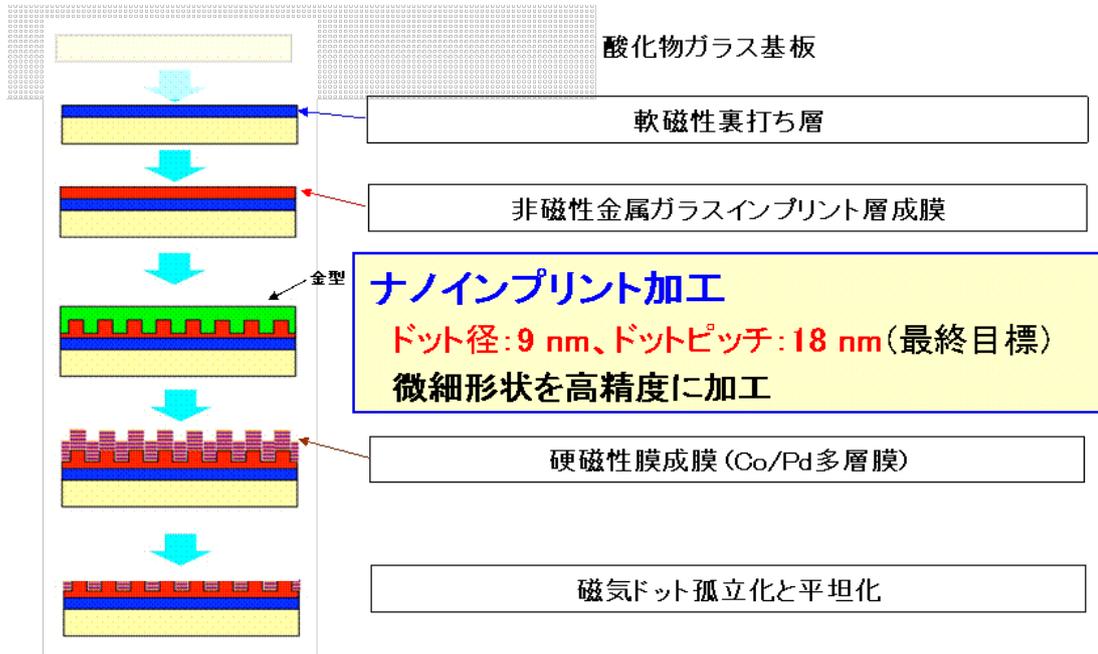
(Pd基金属ガラス//Pd (1.0nm)/[Co (0.25nm)/Pd(1.3nm)] × 10)

- ・ ドット形状でのCo/Pd積層膜は形状効果により更に高い異方性磁界 H_k を示すと判断し、複合積層膜試作には数kOe以下の H_k を有するCo/Pd積層膜を供給した。
- ・ Co/Pd積層膜は硬磁性記録層としての適用可能性が確認されたことから、ドット体積及び市販ヘッドの仕様から要求される H_k への調整を行い、媒体成立性評価用複合積層膜の硬磁性記録層として採用することとした。

IV. 複合積層膜の成膜

媒体としての成立性を評価するため、これまでに検討してきた各構成層を積層させた複合積層膜を作製した。図①-10に複合積層膜の作製工程をチャートで示す。いずれの薄膜もMGS法により成膜した。軟磁性裏打ち層としては、インプリント加工前後での薄膜の内部応力変化による磁気特性変化を防ぐため、零磁わいのCo-Fe-B-Si-Nb系軟磁性非晶質合金薄膜を選定するとともに、媒体ノイズ抑制のため五層のAPC構造を採用した。インプリント加工を施す非磁性金属ガラスインプリント層は、軟磁性裏打ち層との密着層上にPd-Cu-Ni-P系金属ガラス薄膜を成膜した。密着層には膜厚1~5nmの純Pd薄膜を用いた。さらに、この非磁性金属ガラスインプリント層にドット金型を用いてインプリント加工を施し、金

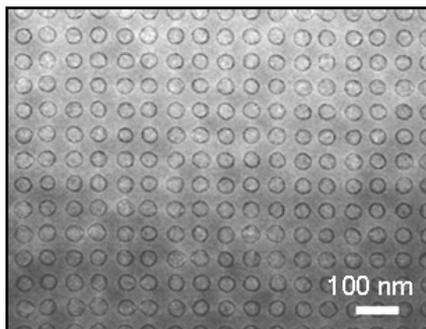
属ガラス薄膜表面にナノホールパターンを成形した。インプリント加工後は、ドット体積や市販ヘッドの仕様に応じた硬磁性特性を有するCo/Pd積層膜を成膜した。仕上げ加工として、媒体表面の余分な硬磁性Co/Pd積層膜をArイオンパターニングにより除去して磁気ドット孤立化及び表面平坦化を行い、媒体成立性評価用試料とした。



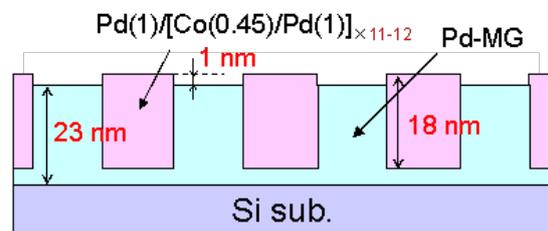
図①-10 複合積層膜の作製工程

図①-11に、ドット径 30nm、ピッチ 60nm のパターンを有する複合積層膜の Ar イオンパターニング後の表面像を示す。硬磁性 Co/Pd 積層膜が Pd 基金属ガラス薄膜のホールパターン内に埋め込まれ、磁気ドットとして孤立化していることを確認した。

<積層複合膜のSEM像>



<積層複合膜の推定断面構造>



図①-11 磁気ドット孤立化と平坦化後の複合積層膜の表面 SEM 象

最終目標である2Tb/in²の記録密度を達成するために想定された媒体創製プロセスについて、各構成層に適用可能と考えられる合金の薄膜化、構造及び特性の評価を行うとともに、これらの薄膜を積層させた複合積

層膜を作製した。

本プロセスでは軟磁性裏打ち層上に成膜した非磁性金属ガラスインプリント層に微細ドットパターンを表面に有する金型を用いて、熱インプリント加工により微細ホールパターンを成形し、ホール内に硬磁性記録層を埋め込んだ後、表面研磨等により磁気ドット孤立化及び表面平坦化を行い、BPMとする。そのため、非磁性金属ガラスインプリント層は明瞭なガラス遷移現象を示すとともに、過冷却液体状態の熱的安定性が必要である。一方で、その下地となる軟磁性裏打ち層には様々な磁気特性が要求される。中でも、後工程の金属ガラス薄膜へのインプリント加工により応力が付加されることから、特性の変化が起こらないよう零磁わい近傍を示すこと望ましい。さらに、記録層はドット形状において基板に対し垂直方向に磁化容易軸を有する硬磁性薄膜とし磁気ドットを形成する。最終プロセスの表面研磨加工では、磁氣的相互作用により磁気ドットの孤立化を妨げる余分な硬磁性薄膜を除去するとともに、媒体表面の平坦化を行って複合化金属ガラス媒体とする。媒体成立性評価ではこれらの薄膜を積層させた状態での各構成層の特性や相互作用を把握し、総合的な媒体設計を行うことが必要不可欠である。以上のことより、表①-1に示す各構成膜に要求される自主目標値を設定するとともに特性評価を行なった。

表①-1 各構成層に要求される最終目標と自主目標、
薄膜の成膜方法、特性及び目標達成状況

各プロセスの構成層	目標と自主目標	成膜方法	薄膜の特性	達成状況
軟磁性裏打ち層	飽和磁束密度 $B_s \doteq 1.2\text{T}$	MGS 法	$B_s \doteq 1.2\text{T}$	○(自主)
	磁わい定数 $\lambda_s = 4 \times 10^{-7}$	MGS 法	$\lambda_s = 4 \times 10^{-7}$	○(自主)
	表面粗さ $R_a \leq 0.5\text{nm}$ 表面粗さ $R_y \leq 4.0\text{nm}$	MGS 法	$R_a = 0.12\text{nm}$ $R_y = 1.3\text{nm}$	○(自主)
非磁性インプリント層	ガラス遷移現象	MGS 法	ガラス遷移現象 有	○(自主)
硬磁性記録層	異方性磁界 $H_k \doteq 15\text{kOe}$	MGS 法	$H_k \doteq 15\text{kOe}$ (ベタ膜)	◎
	飽和磁化 $M_s \doteq 500\text{emu/cm}^3$	MGS 法	$M_s \doteq 500\text{emu/cm}^3$	◎

いずれの構成層も要求される特性を全て達成し、媒体への適用可能性が示唆された。複合積層膜は各構成層を積層させた状態での各々の特性

や相互作用を把握し、総合的な媒体設計を行うための媒体成立性評価用試料とした。これらの構成層を用いた媒体を実用化するためには媒体成立性評価結果のフィードバックを基に、各構成層について微調整を行う必要がある。以下に実用化のための課題をまとめる。

- ・ 軟磁性裏打ち層：飽和磁束密度に合わせた膜厚調整
- ・ 非磁性金属ガラスインプリント層：所望のホール径及び深さに応じた膜厚調整
- ・ 硬磁性記録層：ドット体積及び市販ヘッド仕様に応じた異方性磁界 H_k への膜構造及び成膜条件の微調整

以上のように、各構成層の相互作用を考慮した膜厚や膜構造の調整、硬磁性記録層の H_k 調整が実用化への課題である。

ii. 金属ガラスによる超高密度パターン形成技術の開発

I. インプリント用金型創製技術の開発

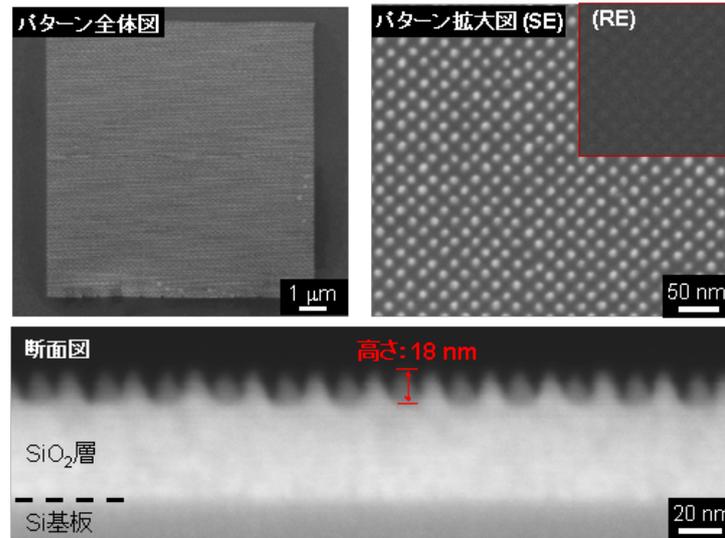
集束イオンビームを用いた化学気相成長法（以下、「FIB-CVD」とする。）でPt析出を行ない、Ptをマスクとしてエッチングを行なうことで超高密度パターン金型の試作を行い、ドットピッチ18nmのパターンを作製して、本プロジェクトの金型創製の最終目標を達成した。また、強化ガラス基板の上にSiを成膜した大面積インプリント用金型を外注試作した。以下に得られた成果をまとめる。

・ Ptデポによる超高密度パターン金型の試作

FIB-CVDとドライエッチングを組み合わせた方法でドット径9nm、ピッチ18nmの超高密度パターン金型の創製に成功した。さらに、ウェットエッチングにより残存Ptマスクが除去できることを確認した。

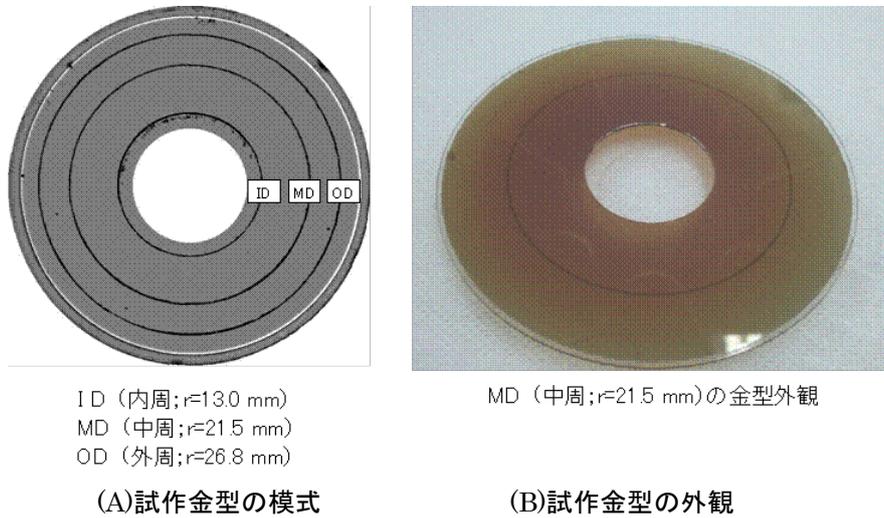
・ Pt導電膜蒸着によるドット配列精度と真円度の改善

金型基板上へのPt導電膜蒸着によってFIB描画時のチャージアップに伴うビームドリフトの抑制が可能なことを確認し、パターン配列精度及び真円度改善を達成した。特に、Pt導電膜を付与したSiO₂/Si基板を用いてドットピッチ18nmのパターンを10μm四方内に一様に創製する事に成功した。本方法は強化ガラス基板を用いた金型創製においても応用可能であることを確認した。



図①-12 Ptマスク除去後のピッチ：18nm金型の観察像（パターン領域：10x10 μm^2 ）

- ・ 大面積インプリント装置に合わせてアライメントマークを設計
大面積インプリント装置に合わせてアライメントマークを設計した
事によりアライメント機構による高精度な位置制御が可能となった。
- ・ 強化ガラス基板用インプリント金型の試作
ドットピッチ46nmのパターンを2.5インチディスク中に3本設計し、
各トラックとも良好な金型形状を確認した。



図①-13 試作金型

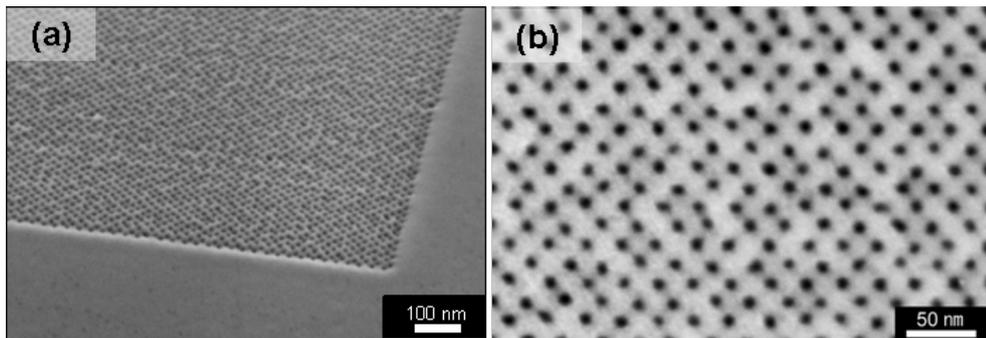
II. インプリントによるナノパターン形成技術の開発

微細パターンの創成を目的に、微小サンプルを用いたインプリント条件の検討と形状評価を行い、インプリント条件の最適化を行った結果、得られた成果を以下にまとめる。

- ・ インプリント条件と形状について評価を行い、Pd基金属ガラス薄膜の

ドット径30nmにおけるインプリント加工特性が明らかとなり、磁気特性に合わせてホール深さが調整可能であることを確認した。

- ・強化ガラス基板への基板移行に伴いインプリント加工特性を評価した。Si基板上と同様のインプリント加工が強化ガラス基板上のPd基金属ガラス薄膜でも可能であることが確認され、基板移行に対応可能であることが示された。
- ・本プロジェクト内で作製されたドットピッチ18nmのドット金型を用いてインプリント加工試験を行った。その結果、最終目標2Tb/in²相当のナノホールパターン創製に成功した。

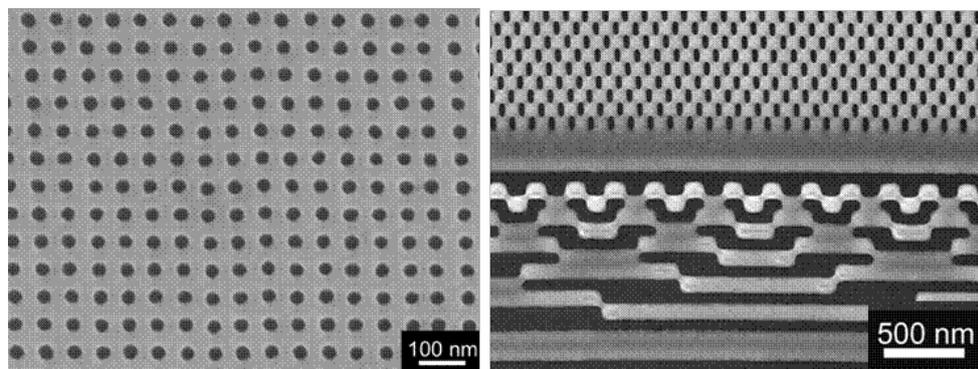


図①-14 インプリント加工したPd基金属ガラス薄膜の(a)傾斜SEM像(b)高分解能SEM像

(a)は傾斜観察したSEM像であり、およそ10 μ m四方内に均一に転写出来ていることが分かる。(b)は高分解能SEM像である。ドット径9nmのパターンが高精度に創製されている。)

大面積インプリント装置を用いてインプリント加工特性について評価し、得られた成果を以下にまとめる。

- ・2.5インチディスクに対応した大面積インプリント装置を導入し、インプリント大面積化の検証を実施した。その結果、Pd基金属ガラス薄膜の2.5インチディスク全面へのインプリント転写が可能であることを確認した。



図①-15 インプリント後のPd基金属ガラス薄膜の表面SEM像(軟磁性層あり)

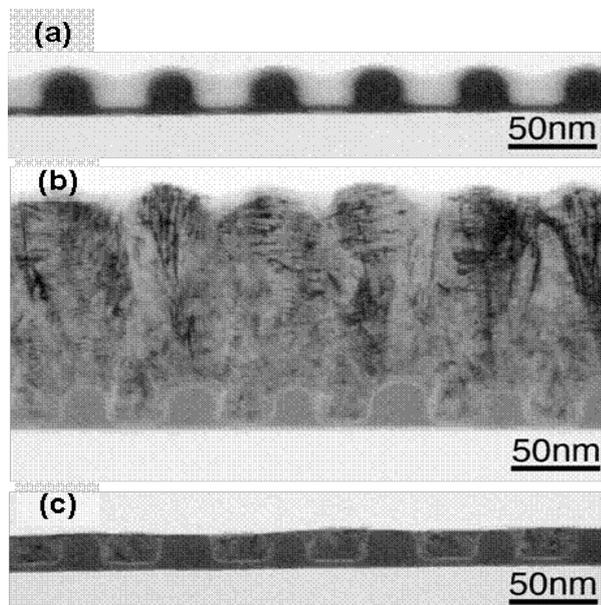
(左：データ領域、右：サーボ領域)

- ・大面積インプリント装置の改造を行い、基板位置制御精度2.3 μ mを確認し、自主目標とした偏心精度20 μ m以下を達成した。

- ・強化ガラス基板製の金型を用いて、強化ガラス基板上のPd基金属ガラス薄膜へインプリントした。金型、基板ともに割れ、欠け、剥離等は起こらず、金型の適応性が示唆された。
- ・圧力分布の改善を検討し、緩衝材の挿入と水冷方向調整により転写深さばらつきの改善が認められた。
- ・サーボパターンのある2.5インチディスク全周のインプリントを行った。転写されたパターンの形状はやや浅くばらつきがあるものの全周にサーボパターンとデータパターンが転写された。
- ・軟磁性裏打ち層上のPd基金属ガラス薄膜に対し、インプリント加工を行った。Pd基金属ガラス薄膜単層膜に比べ、ホール深さが浅くなるが十分なホール深さの媒体を創製出来ることが確認された。
- ・内周、中周、外周の3トラックのパターンが創製された金型を用いて、インプリントを行った。各トラックとも良好な金型形状の再現性が確認された。サーボパターン、データパターンともにホール深さは約19nmであることが確認された。

媒体試作工程毎に透過型電子顕微鏡(TEM)による断面ナノ構造の観察を行った結果、得られた成果を以下にまとめる。

- ・想定した試料作製工程毎に断面ナノ構造を観察した。設計通りの形状と構造が確認され、媒体試作工程の妥当性が示された。Co/Pd多層膜はホール内に充填されており、個々に孤立して磁気ドットを構成している。



図①-16 試料作製工程毎の断面TEM像(a)インプリント後、
(b)Co/Pd多層膜成膜後、(c)平坦化後

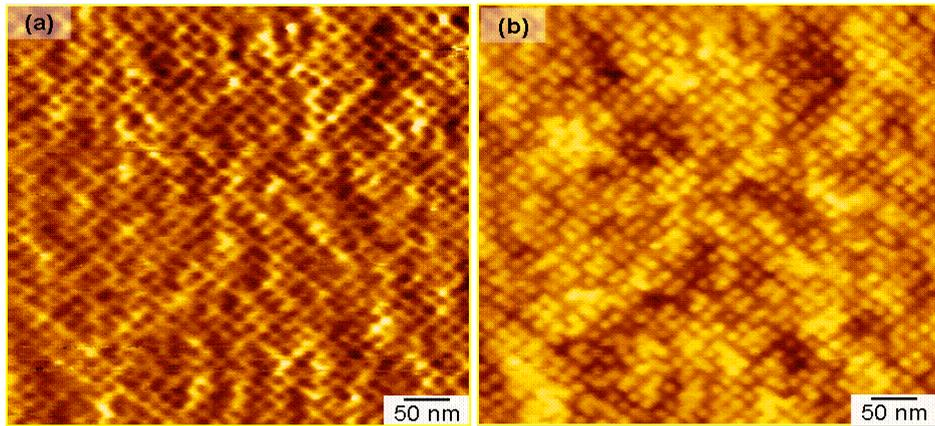
- ・インプリント後のホールエッジに見られるエッジのダレは平坦化後に

減少した。Arイオンエッチングによりドット高さは3nm程度浅くなっていたが、これに合わせ媒体設計を調整し、アスペクト比0.5以上の磁気ドットを持つ媒体構造が創製可能であることを確認した。

- ・エネルギー分散型エックス線分光(EDX:Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)装置を用いた点分析により、CoとPdで構成された磁気ドットとPd基金属ガラスの界面に酸素含有層が存在していることが明らかとなった。インプリント後の膜表面からも多くの酸素が検出されたことから、これらは大気暴露に起因していることが示唆された。
- ・軟磁性裏打ち層の加熱・加圧処理後の断面構造はCo、Ru、Coの形成を確認し、加熱・加圧処理前後での構造変化のないことが明らかとなった。
- ・軟磁性裏打ち層上に創製された媒体について断面ナノ構造を観察し、想定された媒体の構造を確認した。Pd基金属ガラス部分では界面と表面近傍に結晶化由来のコントラストを確認した。

BPMの高分解能磁気力顕微鏡(MFM:Magnetic Force Microscopy)を用いた観察を行うために、必要な観察技術を検討した。MFM用探針の作製法を詳細に調べ、約10nmの高分解能で再現性良く媒体の記録磁化状態観察を行う技術を開発した。高分解能MFM用探針を用いて試作BPMの記録磁化状態及び磁化反転特性を調べた。明らかになった事項は以下の通りである。

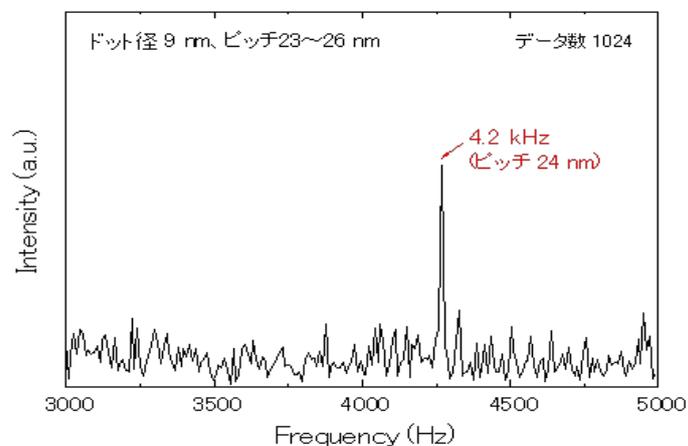
- ・Si製非磁性原子間力顕微鏡(AFM:Atomic Force Microscopy)用探針に残留磁化強度の大きなCoやFe膜を被覆し、被覆膜厚を最適化することで、約10nmの磁気力分解能を実現した。また、Fe膜にBを添加したFe-18at.%Bの非晶質磁性膜を被覆して作製した探針で7.3nmの高磁気力分解能を確認した。
- ・高分解能MFM用探針を用いた磁気力観察を試作BPMの磁化状態観察に適用し、個別磁性ドットの磁化状態が明瞭に区別できること、磁化反転特性計測が可能であることを確認した。
- ・ドット径30nm、ドットピッチ58nmの試作BPMに磁界を印加し磁化反転挙動を評価した結果、約85%のドットで磁化反転の可逆性が認められた。磁性ドットの磁化反転は基本的に可逆的であり、磁気ヘッドによる記録再生の可能性が示唆された。
- ・記録密度2Tb/in²に対応するドット径9nm、ドットピッチ18nmの試作BPMの磁気力観察を行い、磁性ドット同士が孤立化して垂直磁化されていることを確認した。



図①-17 ドット径9nm, ドットピッチ18nmの試作BPMから得られた
(a) MFM像及び(b) AFM像

媒体成立性を評価するために、スタティックテストを用いて市販磁気ヘッドによる試作BPMの準静的な磁気信号の読込・書込特性評価を行った結果、得られた成果を以下にまとめる。

- ・ドット径30nm、ピッチ60nmの硬磁性Co/Pdドットを有する試作BPMの磁気信号の読込・書込特性を評価した結果、ピッチ60nmのパターンに対応する磁気信号を確認した。また直流及び交流電流印加により、磁気ドットへの情報の読込、消去及び書込が可能であることが明らかになった。
- ・Co膜とPd膜から構成された硬磁性Co/Pd積層膜のベタ膜での異方性磁界とドット形状での異方性磁界は、市販磁気ヘッドによる書込可否に相関があり、異なるインプリントホール深さのパターンにもベタ膜の異方性磁界を調整することで媒体として成立するよう対応できることが確認された。
- ・硬磁性Co/Pd積層膜から構成されたドット径9nm、ピッチ18nmの硬磁性ドットを有する試作BPMの磁気信号の読込・書込特性評価において、磁気ドットからの磁気信号を確認した。プロジェクトの最終目標であるドット径9nm、ピッチ18nmのBPM試作に成功し、媒体としての成立可能性が示唆された。



図①-18 試作BPM (ドット径9nm) から得た読込磁気信号のFFT解析より算出した周波数分散

記録密度2Tb/in²を有する磁気記録媒体実現を目指し、金属ガラスへのインプリントを活用してドット径9nm、ピッチ18nmのパターン形成技術の開発を行った。さらに、媒体の実用化・事業化を考慮して、インプリントの大面积化、媒体ナノ構造の検証、磁気的評価技術の高分解能化、市販磁気ヘッドを用いた読込・書込特性評価を実施した。得られた成果をそれぞれ以下にまとめる。

- ・有限差分法(FDM:Finite Difference Method)解析を用いたインプリント条件の最適化：

物性パラメータの実測値を用いてインプリント形状のシミュレーションを実施した。この結果、低温、低速度での金型圧入が表面のうねりを減少させることを明らかにした。

- ・微小サンプルを用いたインプリント条件の最適化と極微細パターンの創製：

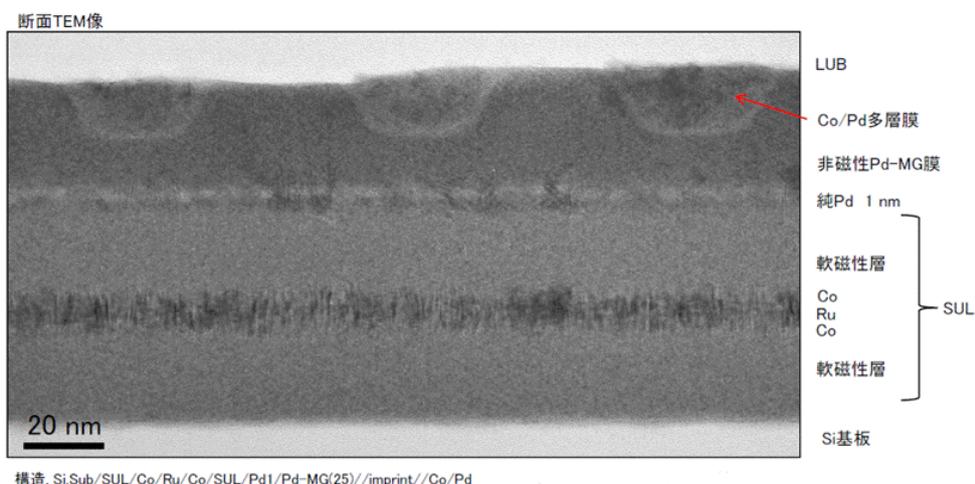
本プロジェクト内で作製された極微細パターン金型を用いてインプリント試験を実施した。この結果、ドット径9nm、ピッチ18nmのパターニングに成功し、最終目標を達成した。

- ・インプリントの大面积化：

大面积インプリント装置を導入し、アライメント機構によって位置制御精度2 μ mを達成した。さらにドット径23nm、ピッチ46nmのパターンを2.5インチディスク内の内周、中周、外周に偏りなく転写出来ることを確認した。

- ・試作BPMの断面ナノ構造評価：

超低加速電圧集束イオンビームによる試料調製を採用し、ドット径30nm、ピッチ60nmの試作BPMの断面ナノ構造を観察した。この結果、設計通りの断面構造が得られていることを確認した。



図①-19 試作BPMの断面構造評価

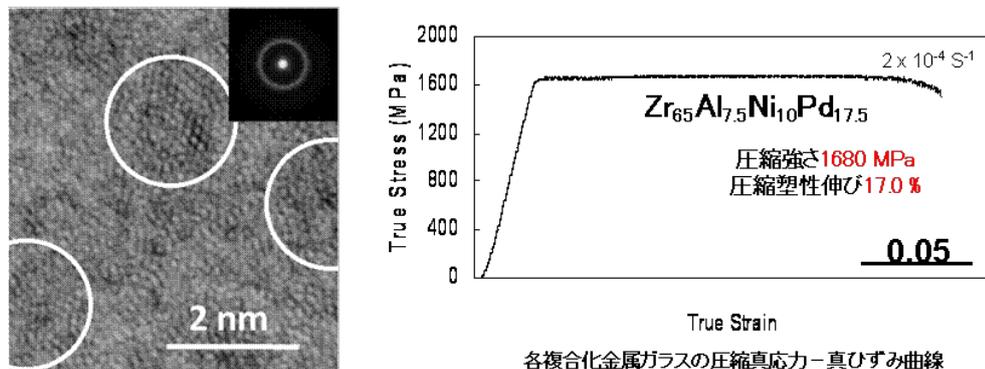
- ・ MFMによる磁気測定の高分解能化 :
高分解能磁気測定用の探針を新たに開発した。この探針を用いた磁気力観察の分解能が約10nmであることを実証するとともに、試作BPMの磁化反転挙動を調査した。
- ・ 市販磁気ヘッドを用いた磁気信号の読込・書込特性評価 :
市販磁気ヘッドによる試作BPMの準静的磁気信号の読込・書込特性を調査した。ドット径30nmの試作BPMの情報の読込、消去及び書込が可能であることを確認した。また、ドット径9nm、ピッチ18nmの試作BPMにおいても、情報の読込に成功した。

②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術

i. 高強度・可塑性複合化金属ガラスの合金創製

複合化金属ガラスについては、金属ガラスマトリックス中に第二相として2nm程度の中範囲規則(MRO:Medium Range Order)領域が析出したZr-Al-Ni-Pd系合金を選定した。直径3mmの試料を金型鑄造法により作製し、その機械的性質について評価した。また、精密成形プレスについては、切削モード用及びコイニングモード用の2つの評価装置を導入するとともに、金型材料の候補を選定し、一次元での基礎的評価を行った結果を以下にまとめる。

- ・ 作製した直径3mmの $Zr_{65}Al_{7.5}Ni_{10}Pd_{17.5}$ 複合化金属ガラス合金の圧縮強さは1,680MPa、塑性伸びは17.0%であった。



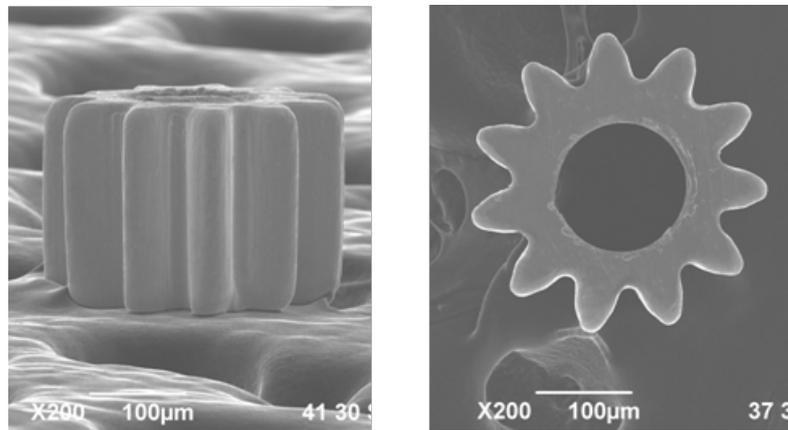
図②-1 $Zr_{65}Al_{7.5}Ni_{10}Pd_{17.5}$ 複合化金属ガラスのHR-TEM組織及び機械強度

- ・ Zr基単相金属ガラスを用いた精密成形プレス一次元基礎評価にて加工された被削面がガラス相を維持していることを確認した。また、被削面の表面粗さは、切削モードで $3.7\mu mRy$ 、その後のコイニングモードにより $0.9\mu mRy$ に改善された。

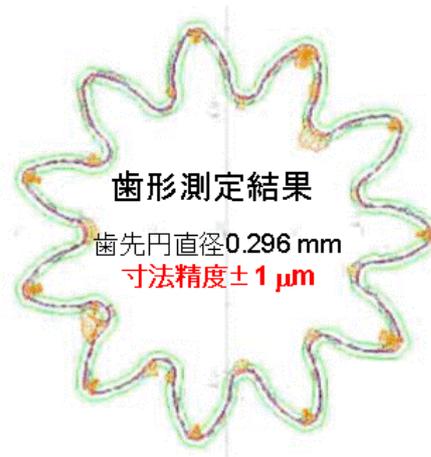
ii. 超々精密ギヤ等の成形技術の開発

超々精密ギヤ等の成形技術の開発として、まず始めに、高コストではあるが短時間で確実に試作が可能な金属ガラスのホブ切りを東北大学より技術導入して、精密射出成形法では作製が困難な超々精密ギヤを先行試作した。引き続いて、試作した超々精密ギヤを用いて寸法精度評価手法を確立するとともに、試作超々精密ギヤを組み込んだギヤヘッドを試作・評価した。一方、このような超々精密ギヤを高効率かつ低コストで製造できる精密プレス成形についても、精密プレス成形装置及び精密プレス成形用金型を導入しホブ切りに追従して開発を行った。得られた成果を以下にまとめる。

- ・東北大学より技術導入したホブ切りにて作製した遊星歯車（ギヤ）については、歯先円直径が0.296mmであり、寸法精度が $\pm 1\mu\text{m}$ の範囲に収まっていた。



図②-2 遊星歯車概観

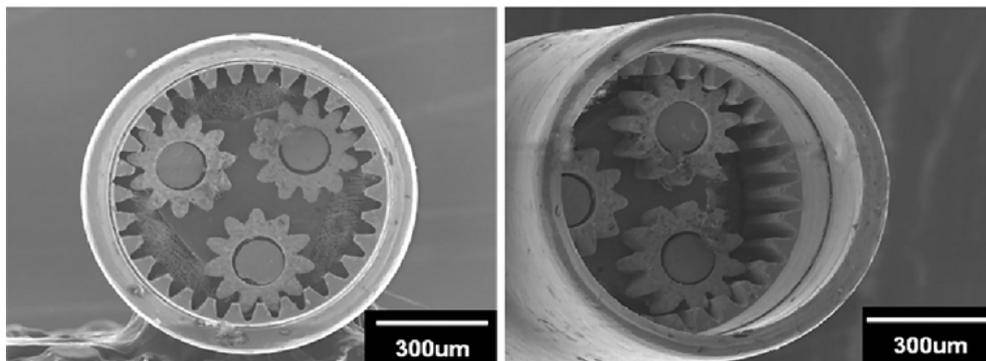


図②-3 遊星歯車寸法プロフィール

- ・精密プレス成形装置で作製した真鍮製遊星歯車については、歯形形状は確認できたものの、欠けが大きい結果となった。ホブ切りにて複合化金属ガラスから作製した遊星歯車については、歯先円直径0.3mm以下及

び寸法精度 $\pm 1\mu\text{m}$ の最終目標を達成した。しかしながら、精密プレス成形については、装置及び金型を導入したものの、金型の加工精度改善が必要なことから遊星歯車の加工が行えず、歯先円直径及び寸法精度の目標が未達であった。

- ・ 試作された超々精密遊星歯車を用いて構築する直径0.9mmギヤードモータ用ギヤヘッドの設計・試作を行った。ギヤヘッドに用いられる各種構成部品の試作とギヤヘッドの予備組立試験を実施し、手動で遊星歯車のスムーズな回転動作を確認した。



図②-4 試作ギヤヘッドの回転動作確認



図②-5 試作ギヤヘッドのサイズ比較（一段）

③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術

i. 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製

I. 高強度・高導電性複合化金属ガラスの合金創製

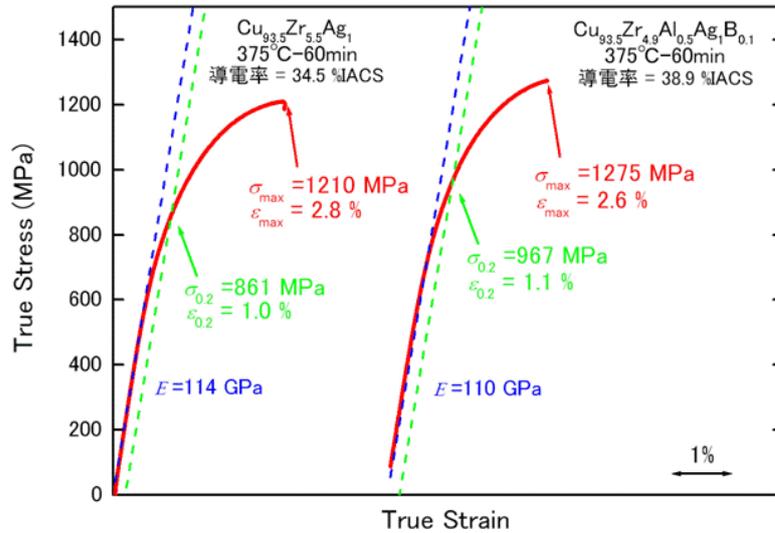
高強度・高導電性複合化金属ガラスとして金属ガラス生成成分則を拡張適用したCu基非平衡結晶合金、及び超高強度特性を有するFe基金属ガラスを用いた金属ガラス複合クラッド材の二つのプロセスで合金創製に取り組んで得られた成果を以下にまとめる。

a) Cu基非平衡結晶合金

銅ベリリウム合金（以下、「Cu-Be合金」とする。）の代替材料開発を目指し、 $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{5.5}\text{Ag}_1$ 非平衡結晶合金及び $\text{Cu}_{96}\text{Zr}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}$ 非平衡結晶合金を開発した。

・ $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{5.5}\text{Ag}_1$ 非平衡結晶合金

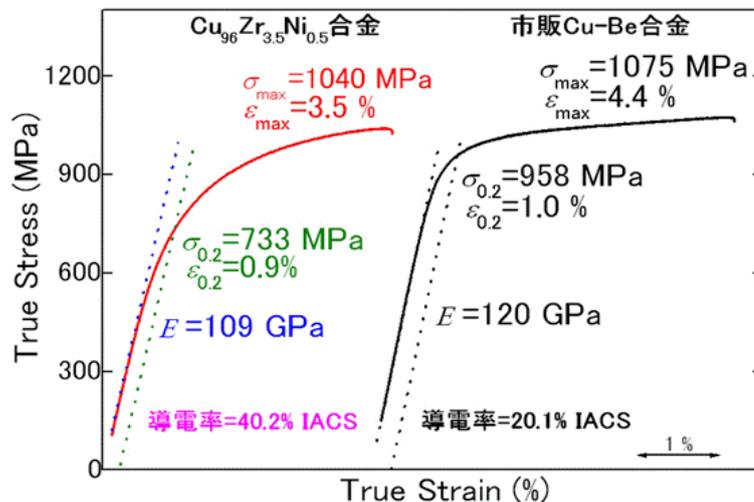
中間目標値である引張強度1,200MPa、導電率30%IACSを達成していると同時に、銅ベリリウム合金のデータを僅かではあるが上回る。加えて、精密薄板寸法の間目標値である幅10mm以上及び厚さ0.1mm程度を全て達成した。



図③-1 $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{5.5}\text{Ag}_1$ 非平衡結晶合金及び $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{4.9}\text{Ag}_1\text{Al}_{0.5}\text{B}_{0.1}$ 平衡結晶合金の圧延熱処理材の真応力-真ひずみ曲線

・ $\text{Cu}_{96}\text{Zr}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}$ 非平衡結晶合金

連続鑄造技術の長手方向へのスケールアップを検討に入れて板幅20mm、長さ40mm、板厚8mm厚の鑄造材から作製した厚さ0.12mmの薄板試料は、Cu-Be合金の特性と比較して引張強度は同等、導電率は約2倍を示す他、良好な曲げ加工性を発現した。



図③-2 $\text{Cu}_{96}\text{Zr}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}$ 非平衡結晶合金薄板試料と市販Cu-Be合金の真応力-真ひずみ曲線

b) Fe基金属ガラス幅広複合クラッド材

強度、導電率の目標に加えて、板寸法の最終目標達成を目指して、複合クラッド材の芯材となる幅50mmの幅広Fe基金属ガラス薄帯を作製した。作製したFe基金属ガラス幅広材から得たエックス線回折図形はブロードなパターンのみの非晶質構造を示し、引張強度2,839MPa、導電率1.3%IACSを発現した。作製したFe基金属ガラス幅広材は、複合クラッド材の芯材として用いた。



図③-3 Fe基金属ガラス薄帯試料とメッキ層を形成した複合クラッド材外観

II. 複合化技術の開発

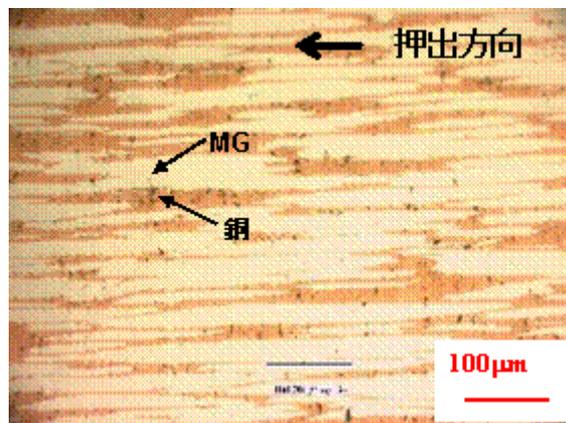
複合化金属ガラスの合金創製を目的に、粉末冶金法を活用したホットプレス法あるいは押出法による複合化の結果、及び得られた複合材の特性について以下にまとめる。

- ・ Cu基及びZr基金属ガラス粉末を用いた。
- ・ ホットプレス法では、金属ガラス相もしくは導電性フィラー相の双方がネットワーク構造を構成した複合化組織を得る事が出来ず、強度と導電性がトレードオフの関係となった。この結果から目標とする強度と導電性を達成するためには、主に強度を担う金属ガラス粉末及び主に導電性を担う導電性フィラー各々の複合化組織の状態が重要であり、形成された複合化組織が特性に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。金属ガラスと導電性フィラーの双方がネットワーク構造となる組織を実現するためには、大きなせん断力が働く強加工の導入が必要と判断された。
- ・ 金属ガラスと導電性フィラー双方のネットワーク構造実現を目的に、金属ガラスとCuの混合粉末を用いて、金属ガラスの過冷却液体領域での温間で大きなせん断力が働く押出加工を行った。この結果、互いにネットワーク構造と形成した組織が得られ、引張強さ1,200MPa、導電率が30%IACS の中間目標値を越える複合化金属ガラスを得ることができた。
- ・ これらのことから、金属ガラス粉末と結晶合金粉末の温間押出加工による複合化技術を確立に目処が見ついた。

複合化が比較的容易に行える材料として、金属ガラス粉末と電解銅粉等とを混ぜ合せた複合化金属ガラスの押出材で材料開発を実施した。押出固化成形体の外観と断面組織をそれぞれ以下に示す。



図③-4 押出固化成形体の外観



図③-5 押出固化成形体の断面組織

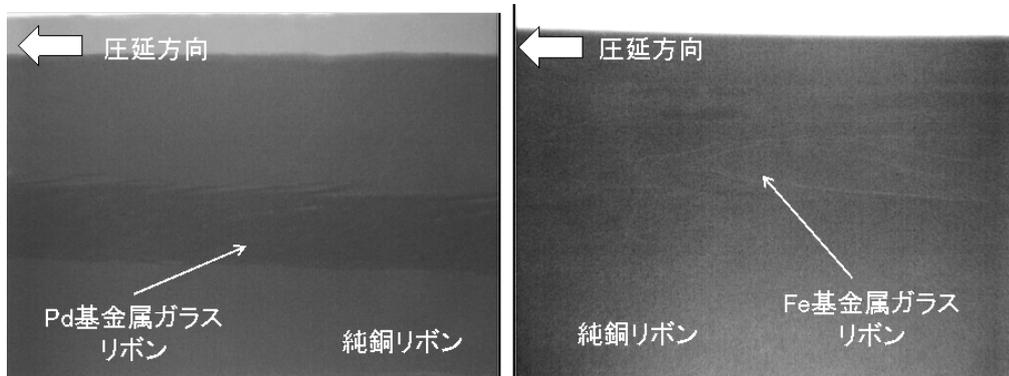
断面組織は押出方向に沿って金属ガラス粉末と電解銅粉の層状変形が認められ、それぞれの層が孤立することの無い組織が確認できる。しかしながら、押出固化成形体の特性評価の結果、プロジェクトの中間目標値である引張強さが1,200MPa以上、導電率が30%IACS以上は発現するものの、それ以上の特性が得られない他に、押出固化成形体自体、電気接点用コネクタ部材に要求される厳しい曲げ加工に困難を伴い、新材料の開発には至らなかった。このような経緯から、金属ガラスの特徴を活かせる方法を検討し、非平衡結晶合金の可能性を見出した。

ii. 精密薄板作製技術の開発

コネクタ用接点部材に適用可能な精密薄板作製技術開発の結果、得られた成果を以下にまとめる。

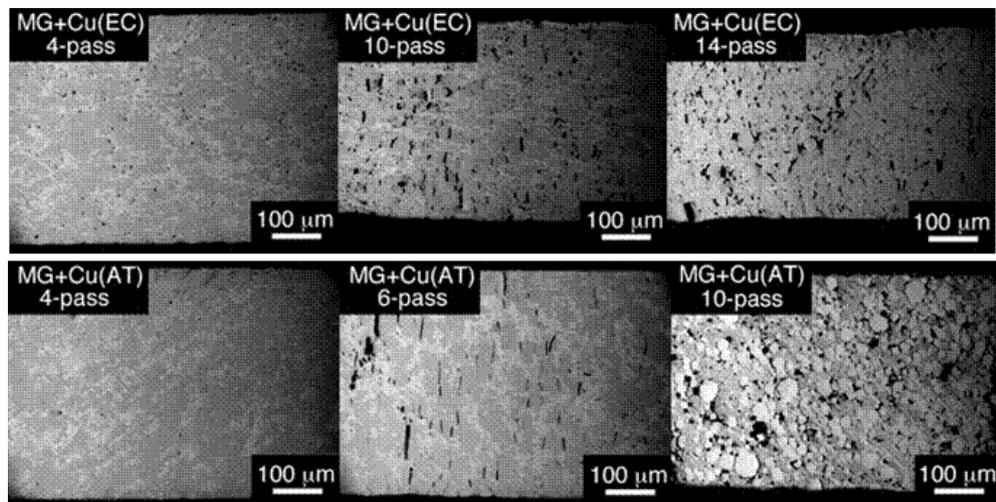
- ・ 金属ガラス箔と純Cu箔の温間クラッド基礎検討を試みた結果、金属ガラス箔の破壊が起こりクラッド加工できなかった。古典圧延理論を用いて金属ガラス過冷却液体の粘性係数から見積もられる流動応力と純Cuの降伏応力を比較した結果、現状のクラッド条件ではクラッド加工

は困難と判断した。結晶化を回避するため加熱ロールを用いた急速加熱と、急速昇温に見合ったロール周速と加工後の冷却を最適化する必要がある。



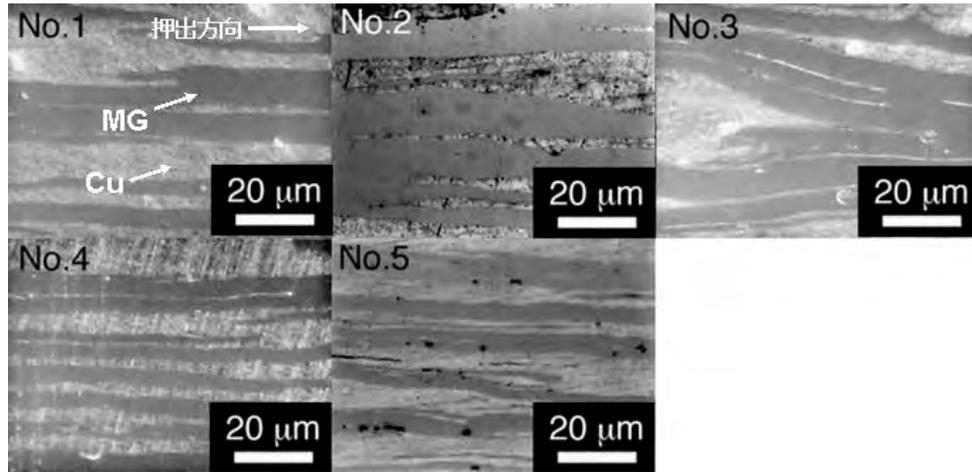
図③-6 Pd基及びFe基金属ガラスクラッド材

- ・「ホットプレスによる複合化」複合化金属ガラス固化成形体を冷間圧延することにより薄板化を試みた。ホットプレスによる複合化金属ガラス固化成形体は、強度あるいは導電性の一方のみが中間目標値を達成していた。しかし、薄板化の冷間圧延パスの回数増加に伴って機械的性質、導電率の双方ともに劣化した。



図③-7 ホットプレス材の圧延による断面組織の変化

- ・押出法により作製した複合化金属ガラス固化成形体を冷間圧延することにより薄板化を試みた。しかしながら、冷間圧延により金属ガラス粉末同士のネットワーク構造が分断され、ホットプレス材と同様に機械的性質、導電率の双方ともに劣化した。



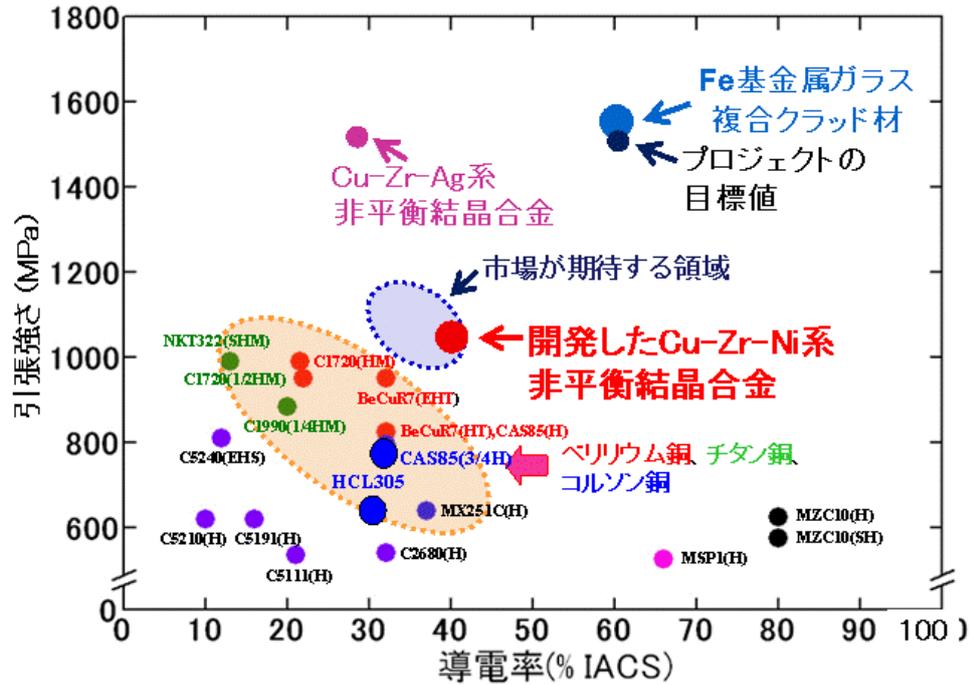
図③-8 矩形押出材の断面組織

Cu-Be合金の代替材料となり得る高強度・高導電性の材料開発を目的に、共通基盤技術の二つの開発項目である合金創製と精密薄板作製技術の最終目標の同時達成可能なプロセス開発を目指した。一方は、金属ガラスが生成される合金成分則を拡張適用したCu基非平衡結晶合金での材料開発であり、他方は、超高強度特性を発現するFe基金属ガラス幅広薄帯試料に電解銅メッキ加工を施した複合化金属ガラスのクラッド材での材料開発である。開発したそれぞれの材料について引張強さと導電率を最終目標値ならびに市販Cu-Be合金のデータと併せて示すとともに、以下に得られた成果をそれぞれまとめ、今後の方向についても述べる。

a) Cu基非平衡結晶合金

Cu-Be合金の代替材料となり得る高強度・高導電性材料の開発を目的に、より量産に適した $\text{Cu}_{96}\text{Zr}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}$ 非平衡結晶合金を新たに開発した。この合金により、引張強さ1,040MPa、導電率40.2%IACSで曲げ加工性に優れた長尺試料（長さ2m、幅50mm、厚さ0.1mm）の作製プロセスを確立し、量産金型を用いた高速打ち抜き・曲げ加工性が実証できた。また、将来銅合金市場が期待する下図の点線で示す領域に十分に合致している。

この試料から将来のIT機器製品用接点材料としての適合性を検討すべく、携帯電話用のバッテリーコネクタを試作した。試作コネクタは市販品と同等の一連製造プロセスでの成立性を確認でき、コネクタとしての性能も試作毎に改善傾向が認められた。

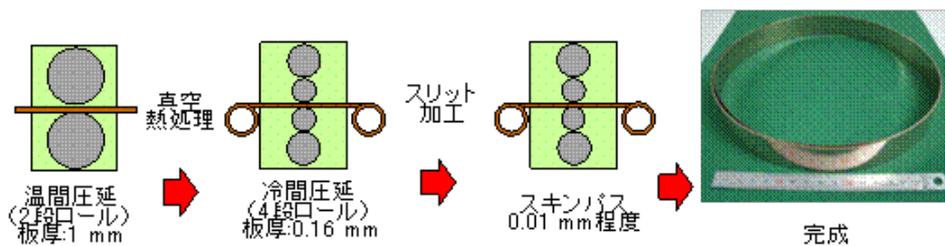


図③-9 市販材料と開発材料の引張強さと導電率の関係

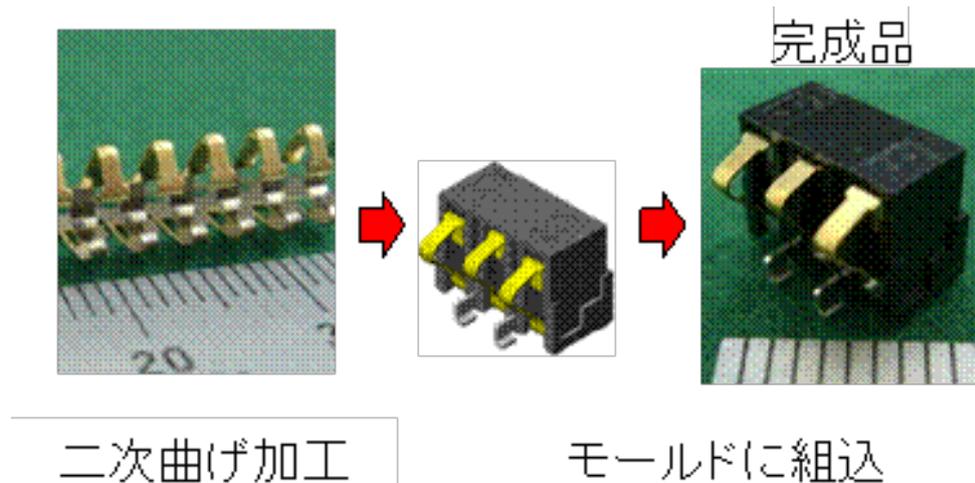


図 3-10 非平衡結晶合金の長尺薄板試料

スケールアップ試作のプロセス確立



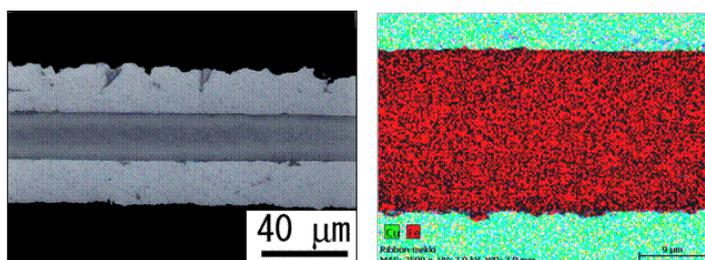
図③-11 長尺薄板試料作製工程



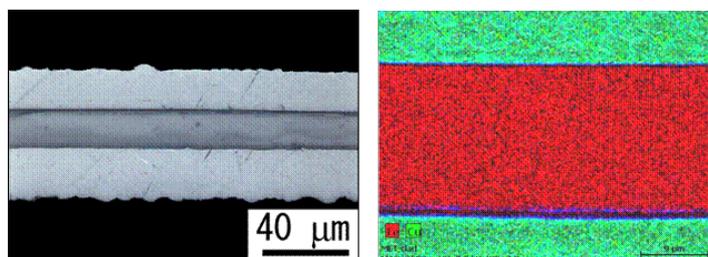
図③-1 2 $\text{Cu}_{96}\text{Zr}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}$ 非平衡結晶合金のバッテリーコネクタ

b) Fe基金属ガラス幅広複合クラッド材

Fe基金属ガラス薄帯試料のスケールアップを図り、幅50mm、厚さ14 μm の幅広薄帯試料の作製に成功した。この試料表面に電解銅メッキ加工を施した幅50mm、板厚約44 μm のFe基金属ガラスの複合クラッド材は、引張強さ1,530MPa、導電率60.1%IACSを発現し、合金創製と精密薄板作製技術の最終目標を同時達成した。加えて、開発した複合化金属ガラスの複合クラッド材は、引張強さと導電率がバランスされている他に市販Cu-Be合金と比較して特性が高いことが分かった。しかしながら、コネクタ量産化に必要な曲げ加工性に乏しいという課題が明らかとなった。

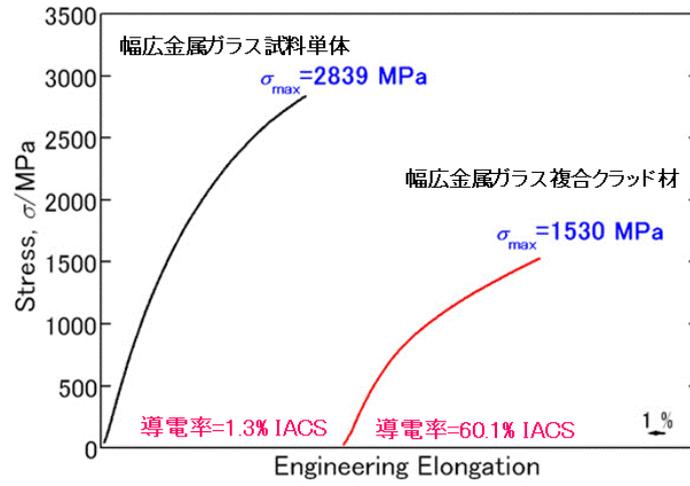


Fe-B-Si-Nb金属ガラスクラッド材 (左: 断面観察像、右: EDX像)



METGLASクラッド材 (左: 断面観察像、右: EDX像)

図③-1 3 幅広複合材クラッド材の断面観察像



図③-14 幅広複合材の特性

(2) 実用化技術研究開発

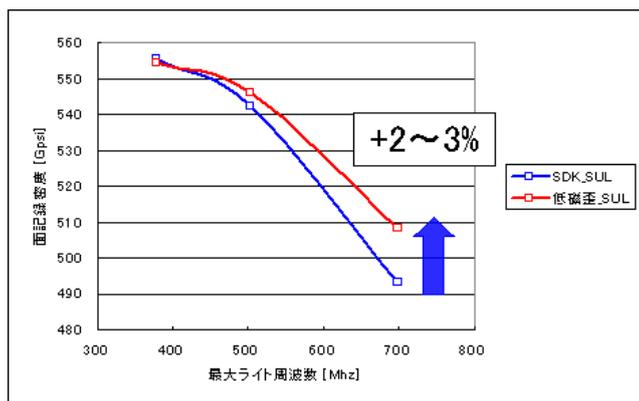
①次世代高密度磁気記録媒体の開発

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、高密度磁気記録媒体を試作し、磁気記録特性を確認した結果をまとめるとともに、成果を示す。

- ・共通基盤技術研究開発の成果である複合積層膜の成膜技術をもとに、記録媒体の試作を行なった。磁気記録媒体評価法として市販磁気ヘッドをスタティックテストに取り付け、試作媒体の準静的評価を行い、磁気記録情報の読込、消去及び書込が可能であることを確認した。
- ・また、この媒体を回転させたスピンスター評価で、磁気記録情報の読込を動的に確認した。
- ・共通基盤技術研究開発の成果である複合化金属ガラスの軟磁性裏打ち層については、現行媒体と比較した場合、磁気ヘッドによる書込幅が広がり記録密度上昇効果が見られなかったため、今後顧客側からの高周波特性の改善要求が強くなった場合には、再び検討を行うことになると予想される。
- ・複合化金属ガラスによるパターンメディアは平坦化の成功で、実際にサーボ信号、データドット信号検出、ヘッド安定浮上が可能となった。磁性ドットがプラズマに曝されないメリットから信号も良好で、プロセスとして凹型で磁性層を埋め込む方式が優位であることが確認でき、 $2\text{Tb}/\text{in}^2$ が可能であることが証明できた。
- ・超高密度磁気記録媒体作製用金型創製技術としてFIB-CVD法が開発されたが、実用化に対する金型の安定的供給、寿命等の製品コストに係る評価が課題として残った。また、同時に熱インプリント技術を用いた媒体の製造時間における短縮化が大きな課題として残った。
- ・量産化へは、金型品質改善、プロセスのスループット改善、欠陥の低減、両面加工方式の開発など課題は多いが、今後のパターンメディアのプロセスの基本方針となると考える。

I. 共通基盤成果による軟磁性裏打ち層の実用化

実際に媒体試作まで行い特性確認を行った。実特性として、歩留まり、長期信頼性、耐腐食性、電磁変換評価を実施した。歩留まり、長期信頼性、耐腐食性については、現行媒体と同等という結果となった。電磁変換特性において、オーバーライト特性、非線型転移点シフト(NLTS)特性については高周波応答性において現行媒体よりも優れていることが確認できた。信号対雑音比(SNR)においても優位であった。昭和電工株式会社の標準零磁わい軟磁性裏打ち層に比べて面記録密度2~3%の向上を確認した。



図①-20 零磁歪軟磁性裏打ち層の内製化と評価

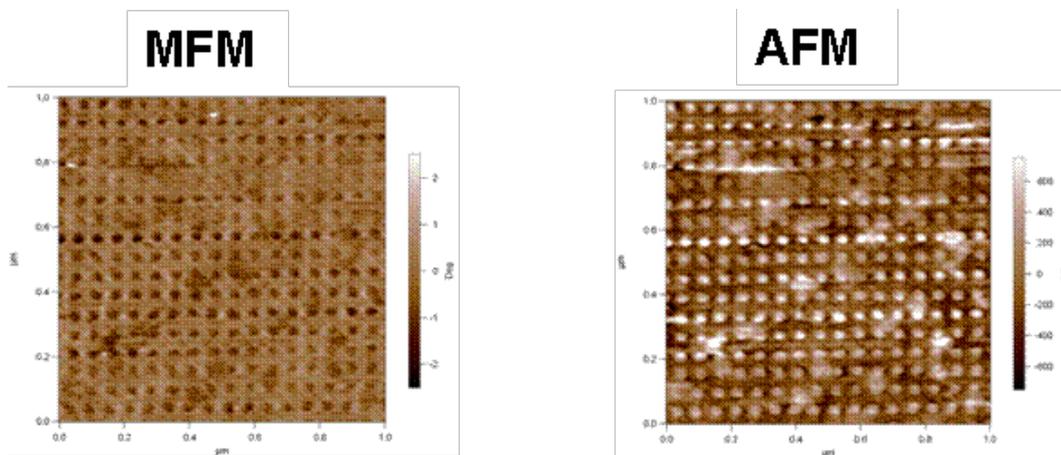
II. 次世代磁気記録媒体の試作

サーボパターン付ドット径 23nm、ピッチ 46nm の金型を用いて媒体を作製した。具体的には軟磁性裏打ち層成膜、非磁性金属ガラス成膜、ナノインプリント、Co/Pd 積層膜形成、その上に Pd 膜成膜 (450nm)、研磨平坦化、Pd 残渣の Ar エッチングによる除去、保護膜成膜を行い、潤滑剤を塗布して媒体に仕上げた。媒体として現行媒体と同様の磁気ヘッド浮上安定性を示し、プロセスとして作製可能となった。

昭和電気株式会社が保有する製膜装置でも対応できるように金属ガラスターゲットを作製し、金属ガラス膜を成膜、インプリント特性を確認したが十分なパターン形状を得ることが出来なかった。ドット径 10nm、ピッチ 20nm (サーボパターン無し) についても作製実施した。

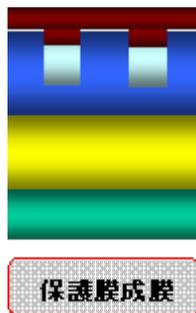
III. 超精密MFMによるビットパターン検証

導入した原子間力・磁気力顕微鏡装置により研究開発項目①. II「インプリントによるナノパターン成形技術の開発」で作製・試作された媒体を測定した。ドット径 30nm については、MFM で磁気情報を検出した。ドット径 10nm については、AFM により形状が確認できた。2Tb/in² の検証は AFM での形状がはっきり出ているので検証が可能になった。

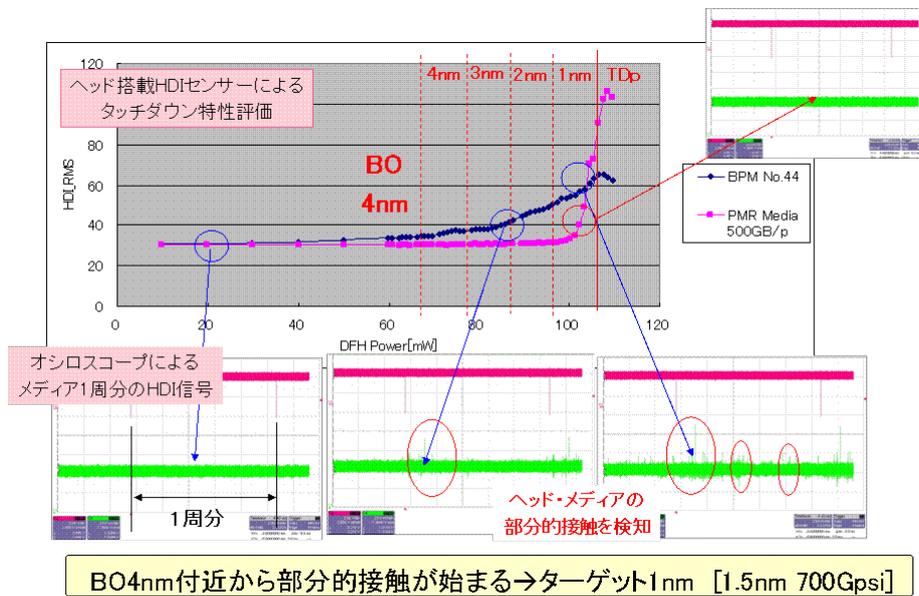


図①-21 試作媒体の評価結果

IV. 微細パターン追従型リードライトテスターによるビットパターン検証
 微細パターン追従型リードライトテスターを用いて、実際に磁気ヘッドを浮上させてデータの読込・書込評価を行った。微細パターンとして、研究開発項目①. II「インプリントによるナノパターン成形技術の開発」で作製された媒体（ドット径 23nm、ピッチ 46nm）を用い、磁気ヘッドの安定浮上性、サーボトラックの信号、データドットの信号を測定した。ヘッドは 6nm で安定浮上し、サーボ信号、データドット信号ともに検出できた。ドット径 10nm についても評価を行い信号検出できた。ドットとして 2Tb/in² のパターンドメディアは作製可能と判断した。

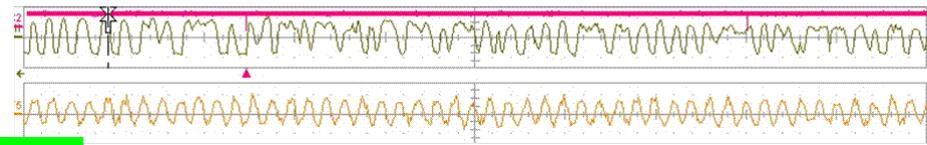


図①-22 試作媒体の平坦化イメージ



図①-23 試作媒体の平坦化後の浮上特性評価結果

BPM ピッチ60nm



PMR

	PMR	BPM ピッチ60nm	BPM ピッチ46nm
Rise Time [ns]	3.0	2.7	判断困難
Fall Time [ns]	2.9	2.8	

◎DC着磁のため片側位相反転(0-peak)にもかかわらず
Rise/Fall TimeでPMR同等の特性を示す
⇒ヘッドによるBPMメディアへの記録・再生が顕現できた
⇒高記録密度化への可能性が顕現できた

図①-24 試作媒体の平坦化後のスピンスタンドに動的記録再生試験結果

ビットパターンメディア実用化に向けての課題が抽出され、以下の項目等の改善・解決が必要であることが認められた。

- ・生産性の改善及びディスク全面へのパターン創製
プロセスの最適化により、製造時間の短縮が強く求められる。市場から求められる数量を供給するためには、1枚/1分以内でなければならない。
- ・ビット抜けの改善
金型の品質改善と金型の安定供給源の確保が必要であると同時に、金型の耐久性の確認が必要である。また、同時に平坦化のプロセスの最適化により加工時における歩留まりの改善が必要である。
- ・高記録密度化への挑戦
サーボパターン品質の向上が必要である。
データパターンにおけるビットの均質化が必要である。
等が早い時期に解決されなければならない。

②超微小モータ用部材の開発

共通基盤技術研究開発において開発された成果をもとに、超微小モータを試作して、実用化に必要な諸特性を確認した結果をまとめるとともに成果を示す。

- ・共通基盤技術にて創製された $Zr_{65}Al_{7.5}Ni_{10}Pd_{17.5}$ 複合化金属ガラスによる直径0.296 mm、寸法精度が $\pm 1 \mu m$ の遊星歯車（ホブ切り）を用い、先行開発したDCブラシレスモータと組み合わせることで、直径0.9mmの1段ギヤードモータの開発に成功した。（世界最小更新）また、試作したギヤードモータのスムーズな回転動作を確認した。また、ギヤヘッド多段化に向け太陽キャリアの金型を新たに開発し、射出成形法によりモジュール0.22の歯車を有する太陽キャリアの試作に成功した。更に、太陽キャリアを組み込むこと

により直径 0.9mm の 2 段ギヤードモータの開発に成功した。

- ・ 事業実施者の製造工場に金属ガラス製造装置一式を導入し、試作ラインを構築した。また、内歯車のブローチ加工法を新たに開発、予備評価として直径 1.5mm ギヤードモータ用内歯車の加工に成功し、工法としての可能性を見出した。
- ・ 当初計画では、超々精密ギヤ部品のコスト対応として精密プレス成形加工技術開発を進めたが、ホブ切りに変更したことにより実用化における部品コスト低減への対応等への対応も課題として残った。

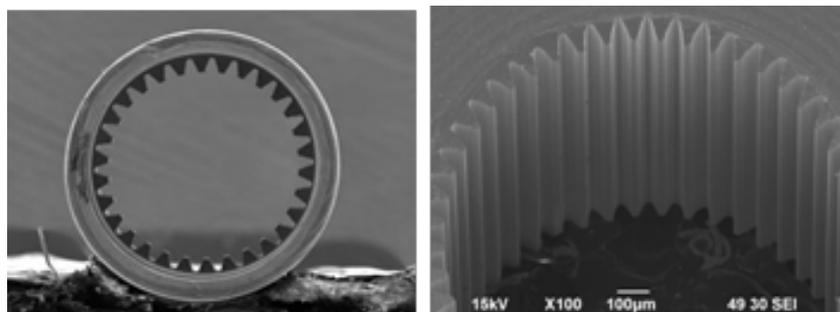
I. ギヤヘッド開発

超微小ギヤードモータ用遊星歯車作製のために超微小遊星歯車専用のホブ盤を導入し、遊星歯車の量産技術開発を行い、加工条件の最適化によって遊星歯車に求められる $\pm 1\mu\text{m}$ の要求精度に対して、加工寸法精度として、標準偏差 3σ を超える歩留まりで加工可能であることが確認できたことにより目標達成の目途を得た。



図②-6 遊星歯車要求精度

ブローチ加工による内歯車（直径 1.5mm 3 段ギヤードモータ用）の試作に成功した。

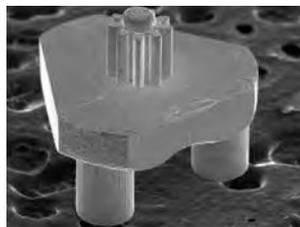


図②-7 ブローチ加工内歯車

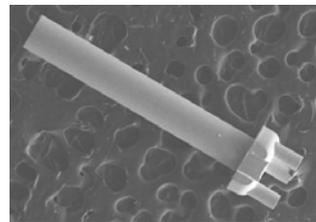


図②-8 直径 1.5mm ギヤードモータ（ブローチ加工内歯車使用）

超精密ダイカスト装置、歯車検査装置一式により、ギヤヘッド多段化に必要な太陽キャリア及び出力軸キャリアを射出成形により成功した。



図②-9 太陽キャリア



図②-10 出力キャリア

太陽キャリアを用いた直径 0.9mm の 2 段 (36 : 1) ギヤヘッドの試作に成功した。

II. モータ開発

要素部品であるコイル及びマグネットを改良し、シミュレーションを用いた磁気回路の最適化を行うことで、コイル及びマグネットの諸元を決定した。直径 0.9mm のモータの基本設計を完了した。

軸受の部品精度向上、組立精度向上により摺動損失低減を図ることを目的に、材質を変更して部品精度の向上を計ったが、摺動損失の大きな低減効果は得られなかった。更なる組立て精度向上による芯ずれ低減が課題として残った。

三相正弦波オープンループドライバを新たに開発し、直径 0.9mm のモータの駆動を試みた。モータ回転数として 1,000~120,000rpm の範囲で安定して回転駆動していることを確認した。

ギヤヘッド部材の形状・寸法評価および疲労破壊要因特定を目的として、レーザ測定器、自動外観寸法評価装置、ガラススケール及びエネルギー分散型 X 線分析装置の導入を実施した。

III. 直径0.9mmギヤードモータ開発

組立用マニピュレータをギヤヘッド組込に使用することで直径 0.9mm ギ

ヤヘッドの組立に成功した。これは、手動組立に対して組立が容易となり、部品紛失による歩留も改善した。

ギヤヘッドとモータを組み合わせことで、直径 0.9mm の 2 段 (36:1) ギヤードモータの試作に成功し、初期特性を確認した。

ユーザである医療機器開発メーカーへ提案し、製品仕様についてフィードバックを得て、新しい課題が明確になった。



図②-11 直径 0.9mm ギヤードモータ

直径 0.9 mm で多段 (2 段) のギヤードモータの試作には成功したが、ギヤードモータの出力トルク等については、自主目標として掲げていたものに達しなかった。このため、事業実施者において、有望である先端医療アプリケーションを選定し、ユーザである医療機器開発メーカー訪問等によるニーズ調査を今後とも進める予定である。

事業実施者の企業化及び輸出の見通しとしては、開発している直径 0.9mm ギヤードモータの有望アプリケーションは、医療機器用途として想定されていることより、提案サンプル準備が出来次第直径 0.9mm ギヤードモータの市場調査を進めていくが、前段階としてユーザ評価用サンプル (直径 1.5mm のギヤードモータ) を供給し、ユーザの要求仕様に沿った改良を図りながら製品化を図る。

③高強度・高導電性電気接点部材の開発

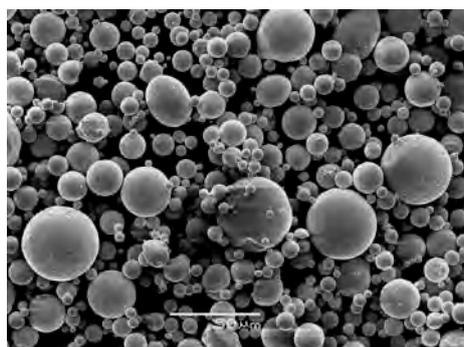
共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、微細カードコネクタを試作して、実用化に必要な諸特性を確認した結果をまとめるとともに、成果を示す。

- ・本プロジェクトでは、 $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{5.5}\text{Ag}_1$ 非平衡結晶合金粉末を用いて薄板材を製作し、携帯電話用 SIM (Subscriber Identity Module) カードコネクタを試作し、特性評価を行った。その結果、曲げ加工性とばね特性においてカードコネクタに必要な接圧力特性が発揮できず、コネクタへの適用は、難しいと考えられる。

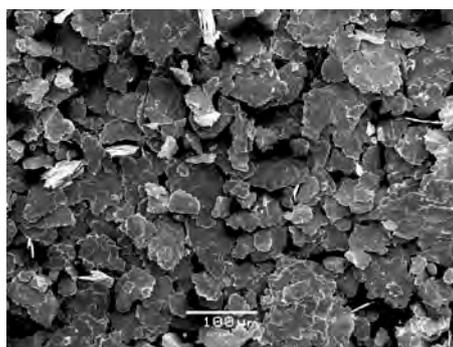
- ・ 今後、曲げ加工やばね特性を必要としない高強度・高導電性の電気接点部材などへの応用を検討し、新規商品化に結び付けていく予定。また粉末から薄板材への加工技術を応用した新規商品開発も検討する。

I. 高強度・高導電性非平衡銅合金粉末の作製

共通基盤技術で開発された $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{5.5}\text{Ag}_1$ 非平衡結晶合金粉末をガスアトマイズ法により作製、薄板成形用の出発原料とした。またガスアトマイズ粉末にボールミルによる強加工を施し、予備固化成形、薄板加工試験を行った。



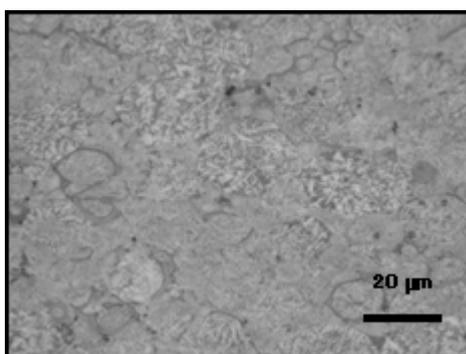
図③-15 Cu系非平衡銅粉末



図③-16 Cu系非平衡銅合金粉末(強加工)

II. 連続薄板成形加工技術開発

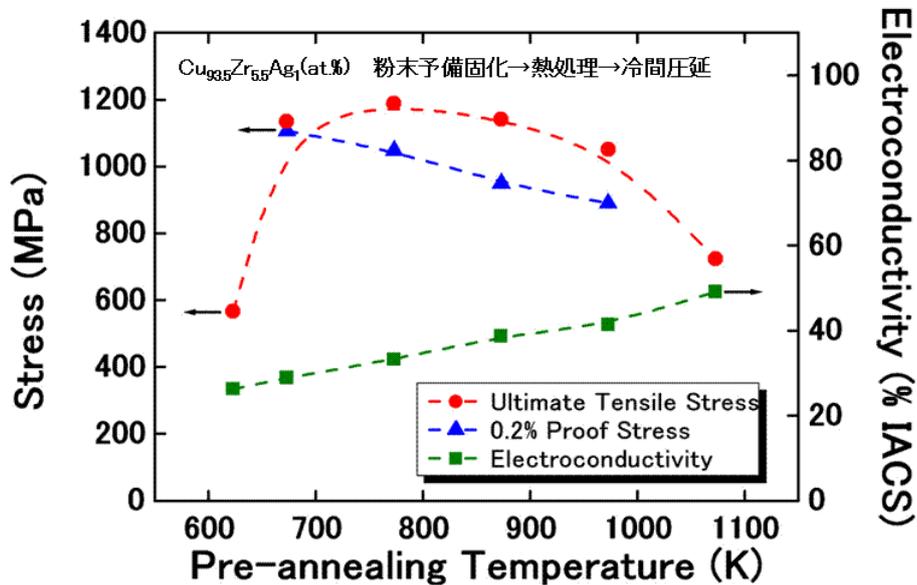
上記で作製した粉末について、予備固化作業を行い、最適圧延条件の探索を行った。圧延速度、ローラー温度をパラメータとし、粉末圧延試作を行った。その結果、圧延速度が遅く、なおかつローラー温度が高いほど、粉末が密に充填される傾向が明らかとなり、条件最適化の結果、最終的に相対密度 99.4%の粉末予備固化体を得た。



図③-17 粉末予備固化体断面組織

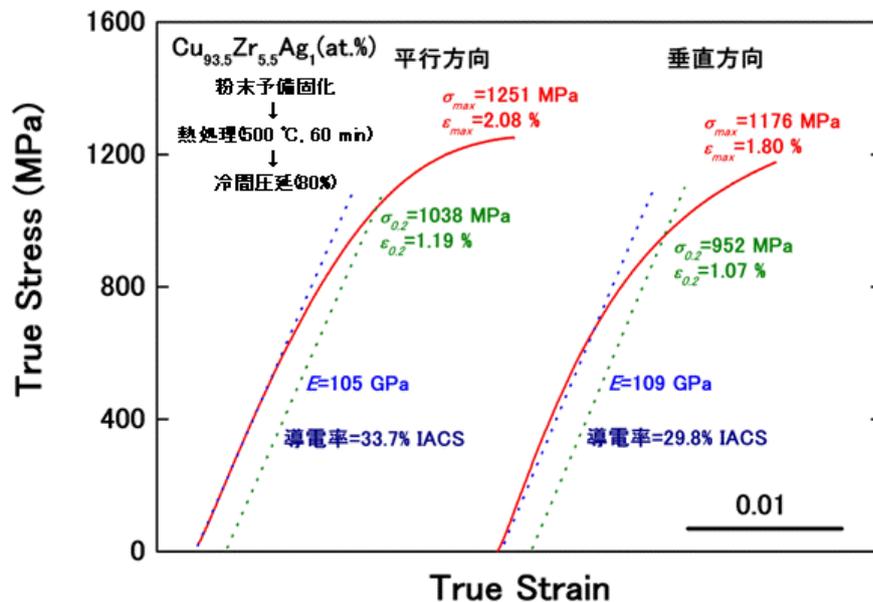
また、予備固化法により得られた成形体に対して温度を変え、水素還元雰囲気中で1時間の熱処理を施した。厚みで0.7mmの材料を0.14mmまで冷間圧延し、得られた薄板材について引張試験、導電率測定で特性評価を行った。

た結果、熱処理温度の上昇に伴い、ヤング率が低下する傾向、導電率は上昇する傾向が認められた。引張強度は、773Kで1,200MPaが最大であった。



773 K (500 °C)で引張強度最大 → 焼結・固溶元素再分配がバランス

図③-18 熱処理温度と機械的・導電特性

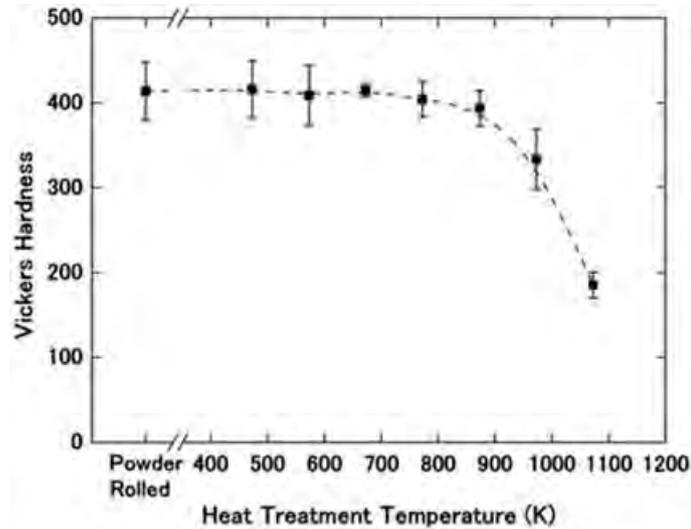


図③-19 $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{5.5}\text{Ag}_1$ 非平衡結晶合金粉末より得られた薄板材の引張特性

結果として、相対密度 99.4%の予備固化体を 773 K で熱処理、冷間圧延を行って得た薄板材は、引張強さ 1251MPa、導電率 33.7%IACS を発現した。

また、ボールミルで強加工を施した $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{5.5}\text{Ag}_1$ 非平衡結晶合金粉末について予備固化を行い、水素還元雰囲気中で1時間の熱処理を施した。予備固

化体及び熱処理材についてビッカース硬さ試験を行ったところ、強加工前の粉末を予備固化したものでHv=244 であるのに対し、873K まではHv=400 と硬かった。熱処理温度として 873K以上では、硬さが低下することが認められた。



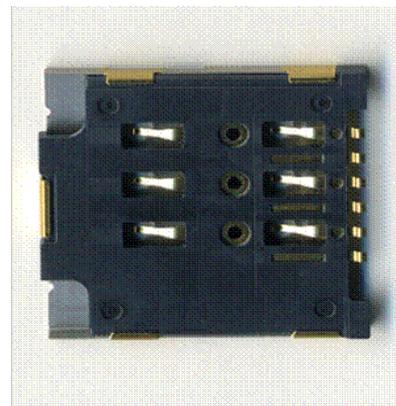
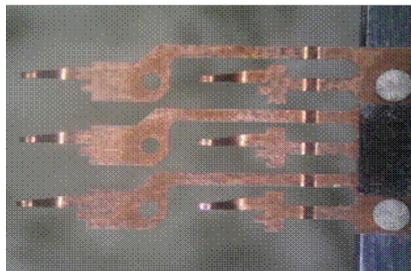
図③-20 強加工Cu_{93.5}Zr_{5.5}Ag₁非平衡結晶合金粉末予備固化体後及び熱処理材のビッカース硬さ

Ⅲ. 微細カードコネクタの試作と性能評価

上記で得られた薄板材をコネクタ製造メーカーに提供、SIMカードコネクタの試作を依頼した。

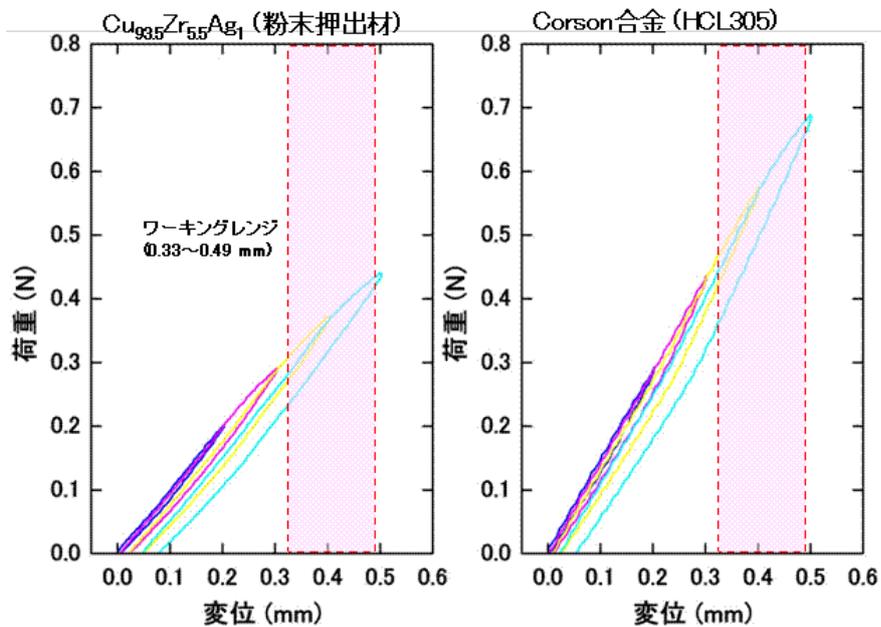
薄板材をワイヤー放電加工でコネクタ形状に切り抜き、曲げ加工を行ったが、最初の工程である「先端部接点曲げ」の段階で割れが発生したため、試作を中断した。粉末予備固化は大気中で行われるため、ローラーから熱を受け、粉末表面が酸化し、粉末間の焼結が阻害されるため、曲げ加工に耐えるだけの粉末結合が得られなかったことが原因と推測される。

これとは別に、押出材から作製した薄板材を用い、同様のコネクタ試作を行った。



図③-21 Cu_{93.5}Zr_{5.5}Ag₁非平衡結晶合金粉末押出材より作製したSIMカードコネクタ (左：曲げ加工後、右：組立て後)

通常の曲げ加工条件よりもゆるい条件ではあるが、最終的なコネクタ形状への加工に成功し、ばね特性の評価試験を行った。結果を下図に示す。コルソン合金（HCL305）と比較し、同じ変位に対する荷重が低いが、実用上問題はないとのこと。しかし、荷重除荷時に変位がゼロに戻らない、いわゆる「へたりに発生している。このへたりに量が他の材料と比較して大きく（4回押しした時点で約0.09mm）、SIMカードの挿抜を繰り返す中で、接触圧力の確保が困難となり、最終的に接触不良が危惧され、この材料をSIMカードコネクタのようなばね特性を必要とする部材への適用は難しいと考えられる。



図③-2 2 試作コネクタのばね特性評価試験結果

本研究開発の成果では、高強度・高導電性電気接点部材用として非平衡結晶合金Cu_{93.5}Zr_{5.5}Ag₁及びその粉末を開発したが、具体的な電気接点等の部品への適用は困難と判断された。

3-2 特許出願状況等

表2. 特許・論文等件数

研究開発項目	特許等件数（出願を含む）	論文発表件数	新聞・TV等報道件数	論文発表件数	国際会議等発表件数	国内会議・学会等発表件数	受賞実績件数
①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術	5	93	7	93	111	67	6
②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術	0	0	0	0	9	3	0
③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術	3	3	0	3	12	19	0
④次世代高密度磁気記録媒体の開発	0	0	0	0	0	0	0
⑤超微小モータ用部材の開発	0	0	0	0	0	3	0
⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発	0	0	0	0	0	0	0
計	8	96	7	96	132	92	6

※特許・論文件名等リストは別添1。

特許等（知的財産）について

- ・本プロジェクトで利用する複合化金属ガラスの成分特許等は概に東北大学より出願済みであり、新たに発明されたものはプロジェクト参画企業より出願した。
- ・記録媒体の基本構造についてはプロジェクト参画企業より出願した。
- ・ノウハウに関する記載が多くなることより、情報漏えい保持の観点から、共通基盤技術の範囲では出願を制限した。

技術情報の管理について

- ・情報管理規定を定め、プロジェクト実施により得られた技術上の成果あるいは情報を管理。成果の外部発表についても、届け出によりプロジェクトリーダーが一元管理し、技術ノウハウの漏えい防止と外部発表時期の適切化を図った。

特許出願リスト

- 1) 特開2010-106331, 強度と導電性を兼ね備えた複合化金属ガラス及びその製造方法, 福田金属箔粉工業(株), 国立大学法人東北大学, 平成20年10月31日出願.
- 2) 特開2010-165392, 垂直磁気記録媒体及びその製造方法、並びに磁気記録装置, 富士通(株), 国立大学法人東北大学, (株)BMG, 平成21年1月13日出願.
- 3) 特開2010-165393, 垂直磁気記録媒体及びその製造方法、並びに磁気記録装置, 富士通(株), 国立大学法人東北大学, (株)BMG, 平成21年1月13日出願.
- 4) 特開2010-229461, 高強度・高導電性銅合金及びその製造方法, 福田金属箔粉工業(株), 国立大学法人東北大学, 平成21年3月26日出願.
- 5) 特開2009-181455, ナノ金型、金型の製造方法及び磁気記録媒体の製造方法, (株)BMG, 国立大学法人東北大学, 平成21年8月4日出願.
- 6) 特願2011-064716, 磁気記録媒体及び磁気記録再生装置, 昭和電工(株), 国立大学法人東北大学, 平成23年3月23日出願.
- 7) 特願2011-077725, 銅合金および銅合金の製造方法, 国立大学法人東北大学, 平成23年3月31日出願.
- 8) 特願2012-039218, 磁気記録媒体及び磁気記録再生装置, 昭和電工(株), 国立大学法人東北大学, 平成24年2月24日出願.

3-3 目標の達成度

(1) 共通基盤技術研究開発

①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術

I. 最終目標値

ドット径 9nm程度、ドット間隔 18nm程度 (2Tb/in²相当) のナノパターン形成技術を開発し、異方性磁界を 15 kOe以下、飽和磁化を 500emu/cm³程度の特性を持つ硬磁性粒子と組み合わせて複合化金属ガラス合金を創製し、評価可能な程度の微小サンプルを試作して磁気記録特性を確認する。

II. 成果

硬磁性・ナノ構造部材技術開発では、優れた粘性流動加工性によりナノスケールの転写加工が可能な金属ガラスを用い、インプリントによりナノパターンを直接成形するとともに、金属ガラスの複合化により高密度磁気記録に適した磁気特性を付与させることで高精度のパターンドメディアを実現し、1Tb/in²を超える高密度磁気記録媒体を高精度かつ低コストで作製できる基盤技術を開発した。

・記録密度が1Tb/in²を超えるようになると、熱揺らぎの影響により記録が不安定になる問題が生じるが、問題解決のためにCo/Pd積層膜の異方性磁界及び飽和磁化がそれぞれ15.1kOe及び510emu/cm³であることを確認した。

・1Tb/in²を超える次世代型の媒体技術としてビットパターンドメディア

用金型創製法を新たに開発し、10 μ m四方の領域にドット径9nm、ピッチ18nm(記録密度2Tb/in²)パターンを有する金型の試作に成功した。

- ・記録密度2Tb/in²パターンを有する試作金型を用いて非磁性金属ガラス層へ熱インプリント試験を実施し、ドット径9nm、ピッチ18nmのパターニングに成功した。また、粗いラインパターンながら2.5インチディスク全面にインプリント加工が可能なことを実証し、市販磁気記録媒体に近い構造の複合積層膜の断面ナノ構造評価を行った。この結果、設計通りの積層複合膜構造であることを確認した。
- ・スタティックテストを用いて、試作媒体の静的磁気評価を実施した。市販磁気ヘッドを用いて、ドット径30nm、ピッチ60nm試作媒体の磁気ドットへの情報の書込、消去及び読込が可能であることを確認した。

Ⅲ. 達成度：達成

②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術

I. 最終目標値

1,650MPa以上の圧縮強さと10%以上の塑性伸び(圧縮応力下)を兼備する複合化金属ガラスの合金創製を行い、直径が0.3mm以下で、寸法精度が $\pm 1\mu$ m以下の超々精密な遊星歯車等が作製できる基盤技術を開発する。

II. 成果

高強度・超々精密部材技術開発では、高温に加熱することなく、比較的低温で微小な寸法を高い精度で実現するために、金属ガラスに塑性変形能を付与した複合化金属ガラス合金を創製し、これを用いてホブ切り等により超々精密部材が作製できるような基盤技術を開発した。

- ・Zr₆₅Al_{7.5}Ni₁₀Pd_{17.5}複合化金属ガラスにて、圧縮強さ1,680MPa、塑性伸びは17.0%の発現を確認した。
- ・ホブ切りで、Zr-Al-Ni-Cu系単相金属ガラス及びZr-Al-Ni-Pd系複合化金属ガラスを用いて歯先円直径0.296mmの超々精密遊星歯車を試作した。この結果、寸法精度 $\pm 1\mu$ m以下を確認した。
- ・得られたZr₆₅Al_{7.5}Ni₁₀Pd_{17.5}複合化金属ガラスを「超微小モータ用部材の開発」に試料供給した。
- ・試作された超々精密遊星歯車を用いて構築する直径0.9mmのギヤヘッドの設計・試作を行った。ギヤヘッドに用いられる各種構成部品の試作とギヤヘッドの予備組立試験を実施し、手で遊星歯車のスムーズな回転動作を確認した。

Ⅲ. 達成度：達成

③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術

I. 最終目標値

1,500MPa以上の引張強さと60%IACS以上の導電率を兼備する複合化金属ガラスの合金創製を行い、板厚が0.05mm程度で、板幅が50mm以上の精密薄板を作製する。

II. 成果

高強度・高導電性部材技術開発では、金属ガラスの高強度特性を保持しつつ電気伝導性を高めることにより、優れた強度と高導電性を併せ持つ複合化金属ガラスを創製し、さらにこれを用いて精密圧延により極薄で板厚精度に優れた広幅の精密薄板を作製して、次世代の超小型コネクタ用電気接点部材を成形するための基盤技術を開発した。

- ・引張強さ4,000MPaを超え高強度特性を発現するFe基金属ガラスリボン材に電解銅メッキ加工することで、引張強さ1,530MPa、導電率60.1%IACSで、板厚0.05mm、板幅50mmの複合化金属ガラスクラッド材を新たに開発し数値目標を達成した。しかしながら、量産に必要な曲げ加工性に課題が残った。
- ・より量産に適した $\text{Cu}_{96}\text{Zr}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}$ 非平衡結晶合金を開発した。引張強さ1,040MPa、導電率40.2%IACSで曲げ加工性に優れた長尺試料（長さ2m、幅50mm、厚さ0.1mm）の作製プロセスを確立し、量産金型を用いた高速打ち抜き・曲げ加工性を実証した。
- ・精密温間圧延装置用混合粉末予備固化装置を用いた予備固化により粉末法で $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{5.5}\text{Ag}_1$ 非平衡結晶合金の複合化技術開発を検討し、改善課題を抽出した。この結果、粉末法による複合化技術では予備固化時の粉末表面酸化の防止と予備固化体の緻密化は技術的にも解決困難と判断した。

III. 達成度：達成

(2) 実用化技術研究開発

①次世代高密度磁気記録媒体の開発

I. 最終目標値

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、記録密度が $2\text{Tb}/\text{in}^2$ の超高密度磁気記録媒体を開発する。

II. 成果

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、高密度磁気記録媒体を試作し、磁気記録特性を確認した。

- ・共通基盤技術研究開発の成果である複合積層膜の成膜技術をもとに、記録媒体の試作を行なった。磁気記録媒体評価法として市販磁気ヘッドをスタティックテストに取り付け、試作媒体の準静的評価を行い、

磁気記録情報の読込、消去及び書込が可能であることを確認した。

- ・また、この媒体を回転させたスピンスタンド評価で、磁気記録情報の読込を動的に確認した。
- ・共通基盤技術研究開発の成果である複合化金属ガラスの軟磁性裏打ち層については、現行媒体と比較した場合、磁気ヘッドによる書込幅が広がり記録密度上昇効果が見られなかったため、今後顧客側からの高周波特性の改善要求が強くなった場合には、再び検討を行うことになると予想される。

Ⅲ. 達成度：達成

②超微小モータ用部材の開発

I. 最終目標値

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、現状の世界最小ギヤードモータ用遊星歯車と比べて 1/2 の大きさの超々精密遊星歯車を使用し、モータ全体の体積が 1/3 以下の超微小ギヤードモータを開発する。

II. 成果

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、超微小ギヤードモータを試作して、実用化に必要な諸特性を確認した。

- ・Zr 基単相及び複合化金属ガラス製遊星歯車をギヤヘッドに用い、モータと組み合わせることで、直径 0.9 mm の 2 段 (36:1) の超微小ギヤードモータの試作に成功し、初期特性を確認した。
- ・ギヤードモータの出力トルク等については、自主目標として掲げていたものに達しなかった。このため、事業実施者において、有望である先端医療アプリケーションを選定し、ユーザである医療機器開発メーカー訪問等によるニーズ調査を今後とも進める予定である。

Ⅲ. 達成度：達成

③高強度・高導電性電気接点部材の開発

I. 最終目標値

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、コネクタのピッチもしくは高さが現状の 1/2 となる微細カードコネクタを開発する。

II. 成果

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、微細カードコネクタを試作して、実用化に必要な諸特性を確認した。

- ・ $\text{Cu}_{93.5}\text{Zr}_{5.5}\text{Ag}_1$ 非平衡結晶合金粉末を用いて薄板材により微細カードコネクタを試作し、特性評価を行った。その結果、曲げ加工性とばね特性においてカードコネクタに必要な接圧力特性が発揮できず、コネクタへの適用は、難しいと判断した。
- ・今後、曲げ加工やばね特性を必要としない高強度・高導電性の電気接

点部材などへの応用を検討し、新規商品化に結び付けていく予定。また粉末から薄板材への加工技術を応用した新規商品開発も検討する。

Ⅲ. 達成度：達成

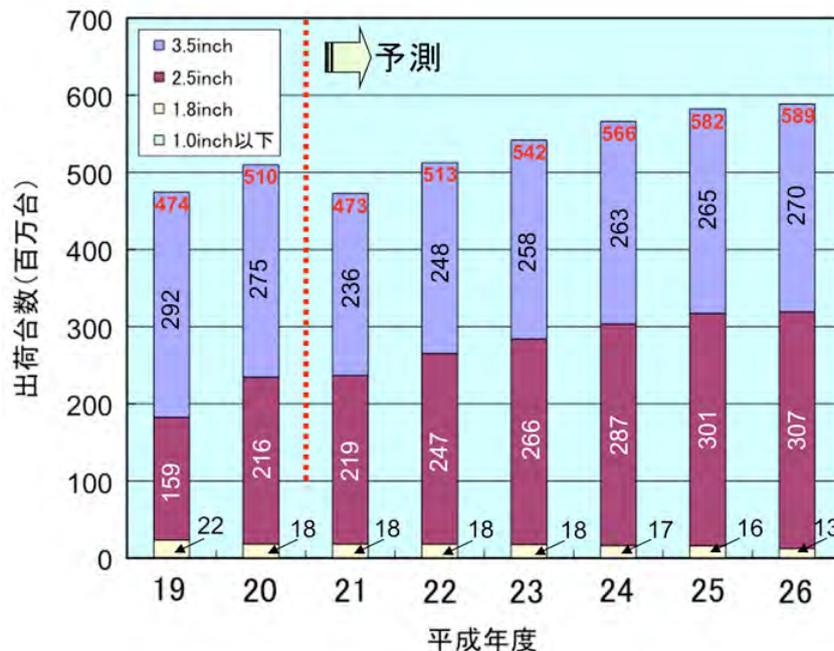
4. 事業化、波及効果について

4-1 事業化の見通し

何れの開発課題において、平成25年度末までに実用化に必要な要素技術と評価技術を確認する。次世代高密度磁気記録媒体は、プロジェクト実施企業において新たに開発した軟磁性裏打ち層の実用化を先行して検討するとともに、平成26年度に複合化金属ガラスを用いた磁気記録媒体の実用化を目指す。また、超微小モータ、電気接点コネクタは平成27年度の製品市場投入を目指す。

①次世代高密度磁気記録媒体の開発

ワールドワイドにおけるHDD（ハードディスクドライブ）のフォームファクターで整理した出荷台数の推移を示す。平成20年度までが実績で、平成21年度以降が予測である。



（株式会社キメラ総研 2009 ストレージ関連市場調査を参照に作成）

図3. ワールドワイドにおけるHDD のフォームファクターで整理した製品別の市場規模の推移

全体の傾向としては、右肩上がりに市場が拡大する。市場の規模について見てみると、プロジェクト開始当時の平成19年度では、出荷台数で4.7億台、売上高で3兆8千億円と見積もられるものが、5年後の平成24年度には、出荷台数で20%増の5.7億台、売上高で10%増の4兆3千億円が見込まれており、市場は成長し続けていくことが予測される。小径の1.0インチ以下はアプリケーションにおいてフラッシュメモリと競合しており、当初期待された伸びは減少傾向を呈していることがわかる。しかしながら、紫色で示した2.5インチ

のHDDの伸び率は堅調で、従来のコンピュータ用途と位置付けられるIT市場では、ノートPC用途の伸びが牽引役となり今後とも順調に伸びるものと予測されている。さらに、デジタル家電もしくは情報家電用途と位置付けられるCE (Consumer Electronics) 市場での伸びも期待される。全出荷台数に対するCE市場の比率は、平成14年度に7%であったものが、平成17年度では2倍以上の16%、平成22年度では平成17年のほぼ2倍の29%と予測され、IT市場の台数ベースの伸びが年率十数%であるのに対し、CE市場は年率30~40%に達している。

HDD業界の現状を基に予測される将来の市場規模は、従来のIT市場に加え、新たに出現したCE市場の広がりも反映して、非常に期待できるものと結論付けられる。しかしながら、金属ガラス材料を磁気記録媒体へ適用するためには、①硬磁性複合化金属ガラスの合金創製、②金型創製、ナノインプリントを含む超高密度パターン形成、技術確立が必要である。この上で開発媒体に見合った評価技術が成立する。特に媒体の低コスト化を目指すためには、さらなる製造プロセス技術のブラッシュアップが必要であろう。市販HDDに使用されている垂直磁気記録媒体の特性を元に、媒体の実用化、事業化に必要な要求仕様(数値)及び想定される技術課題について検討を行った。

〈事業化スケジュール〉

- 平成24年度：軟磁性裏打ち層を量産ラインに投入
(軟磁性裏打ち層改良・改善品量産認定品提供)
- 平成25年度：試作ラインを含めた設備投資の開始
(母合金作製、成形、2次加工、検査工程の改良・整備)
- 平成27年度：試作ラインによるサンプル作製
(量産品認定用サンプル)
- 平成28年度：量産化

更なる高密度化、データサーバーでの省エネの要求等からBPMの早急なる実用化の必要性が認識されているが、1)他部材(例えば、磁気ヘッド)の仕様・供給についても同時に検討されなければならないこと、2)BPM製造におけるコスト対応の点等から、ロードマップに比して、事業化については、遅れが出ているのが現状である。

事業化における、最大の問題は、量産技術として低スループットであることが懸念されていることである。

②超微小モータ用部材の開発

財団法人マイクロマシンセンターの発表によると、平成27年の国内MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 関連市場は2兆4千億円と予想しており、次世代技術として高い注目を浴びている。MEMS市場は、自動

車関連分野、情報通信機器関連分野、精密機器関連分野、医療福祉関連分野等、多岐に渡る産業分野において、さらなる市場拡大が期待されている。本研究開発課題ではこれらMEMS市場を含む幅広い分野を対象に、マイクロギヤードモータの具体的な市場調査を平成19年度から継続して実施している。開発した金属ガラス製超微小モータの用途として、内視鏡やカテーテルへの搭載が、国内・米国・欧州など複数のメーカーや研究機関で検討されている。内視鏡については、ズーミングやフォーカシングを行うためのレンズ駆動用や超音波振動子駆動用に直径2mm以下のモータが望まれている。また、近年では赤外光を用いて高解像度の断層画像を得るOCT (Optical Coherence Tomography) 技術を利用した内視鏡の開発が進められており、赤外光スキャン用ミラーを回転させるためにモータの搭載が検討されている。カテーテルについては、血管の内壁に堆積した血栓やカルシウムなどを取り除くためのロータブレードやDCA (方向型アテレクトミー) などの回転駆動用としてモータの搭載が検討されている。現在、このロータブレードやDCAの回転駆動は体外に配置したモータを駆動し、フレキシブルワイヤを介して先端に付けたカッター等を回転させるものであったが、小径モータの実現によってカテーテル先端に直接配置させることができるため、フレキシブルワイヤの振動による患者への苦痛を低減することができる。その他、医療機器用途のみならず、マイクロロボット、バイオ研究など多岐にわたる分野での応用が期待されている。

現在、実用化を目標として国内、欧米のメーカー、大学、研究所等を訪問し、直径1.5mmのギヤードモータのサンプルを提供し、実装評価を依頼しているところである。そして国内・米国の医療機器メーカーにて開発を進めているDCAカテーテル、OCT内視鏡、超音波内視鏡について、超微小モータの搭載が検討されており、トータルで5~10万個程度/年のモータ需要が見込める。この医療機器については大半がディスプレイでありながら、モータとして単価が数万円というレベルでの単価設定が期待できる。その中で、さらに小径である直径1mm以下のギヤードモータが供給できれば、より末梢の血管、あるいは心臓の冠状動脈のように大きく湾曲しているような血管に対して、自在なカテーテル操作により患部までギヤードモータが到達し、治療・検査・診断が可能となる。また金属ガラスを用いた超小型マイクロギヤードモータは、世界的にも、技術的に本研究開発が先行しており、他に類をみない。直径1mm以下のギヤードモータの開発に成功すれば、世界の中で他社の追随を許さないオンリーワンの製品となると想定している。ギヤードモータとして他との競合はないと想定されるものの、市場の要求価格を見据えた価格競争力を強化する必要があり、比較的高価でも製品として受け入れられる医療機器分野を第一のターゲットとする。

<事業化スケジュール>

- 平成24年度：信頼性評価を含む製品設計
(量産工程を考慮した設計改良)
- 平成25年度：試作ラインを含めた設備投資開始
(母合金作製、成形、2次加工、検査工程の改良・整備)
- 平成26年度：小ロット生産を開始
(サンプル提供レベルではなく、小ロットながら、品質保証された商品としての有償販売を目指す。)

事業化における、最大の問題は、客先仕様に対して部品設計をしないことにより高価格になってしまうこと、ならびに多品種小ロットであることにより低スループットであることである。

③高強度・高導電性電気接点部材の開発

平成20年秋からの米国・サブプライムローン問題に起因する金融不況によって、欧米などで携帯電話、パソコンなど主要電子機器の販売鈍化により日系コネクタメーカーの出荷額はマイナス成長となっており、平成21年度に入ってから、最盛期の4～5割の販売量となってきた。しかし各国、特に中国での国策によるデジタル家電製品や携帯電話の拡販や我国の経済対策により電子機器関連市場は、在庫の削減が進み、急速に回復し、福田金属箔粉工業の電子材料関係は、最盛期の8割程度まで市況が回復してきており、製品によっては、生産が追いつかない状況となってきた。ここで過去のコネクタの世界的需要は、下図に示す世界のコネクタ売上の推移によると平成17年下期から大きく上昇し、平成20年には世界で400億ドルを越える市場まで成長したと予測されている。

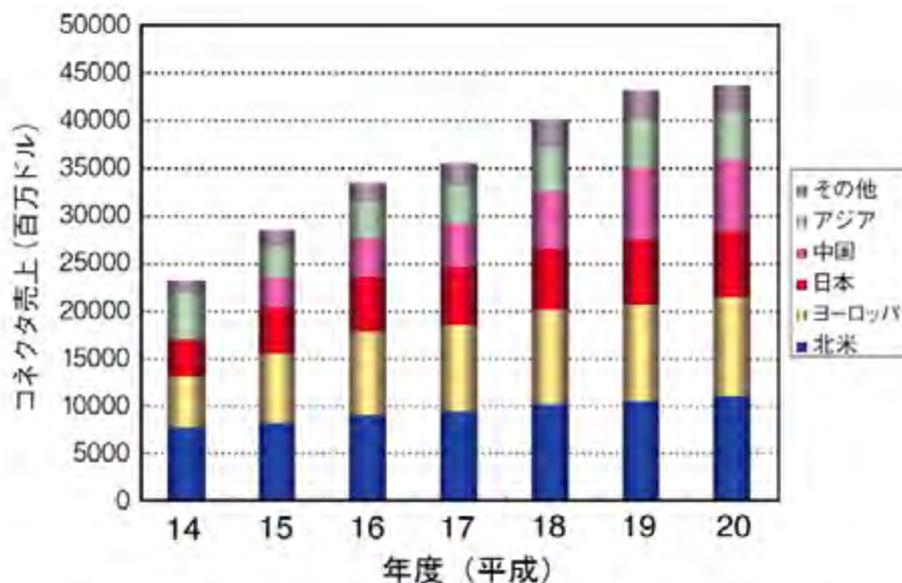


図4. 世界のコネクタ売上の推移

経済産業省の機械統計月報によると、国内においても平成20年1月のコネクタ全体の生産個数は、23億個を超え、生産金額実績では、452億円を越えて前年同月比8.4%増となっている。この背景は、コネクタが、携帯電話をはじめ、薄型テレビやデジタルカメラなどのデジタル家電、自動車など多彩な用途で使用されているためである。携帯電話やデジタル家電などは、機能やデザインが異なる少量多品種生産が常態化し、多品種の電子機器を効率よく設計、生産するには、回路の機能を切り分けて独立したモジュールとして、それぞれのモジュールをコネクタで接続する形態となってきた。たとえば、携帯電話の場合、通話、インターネット接続、カメラ機能などを基本基板としてGPS（全地球測位システム）やワンセグ受信機能などオプションの機能に相当する部分を付加基板としてコネクタで接続する形態となっている。このように付加基板に実装する機能の組合せを変えるだけでさまざまなバリエーションをそろえることが出来る。また外部メモリスロット、パソコンや他のデジタル家電との接続に用いるUSB（ユニバーサル・シリアル・バス）の実装も多く用いられており、コネクタの需要を高めている。またデジタル家電でも信号接続端子や外部メモリーカードのインターフェースを装備し、内部ではHDDや光ディスク装置の装備が標準化しつつあり、ますますコネクタの使用数が増加している。携帯電話や携帯音楽プレーヤからデジタルビデオカメラ、ゲーム機などさまざまな電子機器の小型・軽量化が進んでいる。これらの機器では、電子回路の高集積化や部品の実装密度の向上などでデバイスの体積削減が行なわれ、コネクタも例外ではなく、確実な接続を保持しつつ狭ピッチ、低背、薄型化が求められ、開発が進められている。その例として下図には、コネクタピッチの変遷を示す。

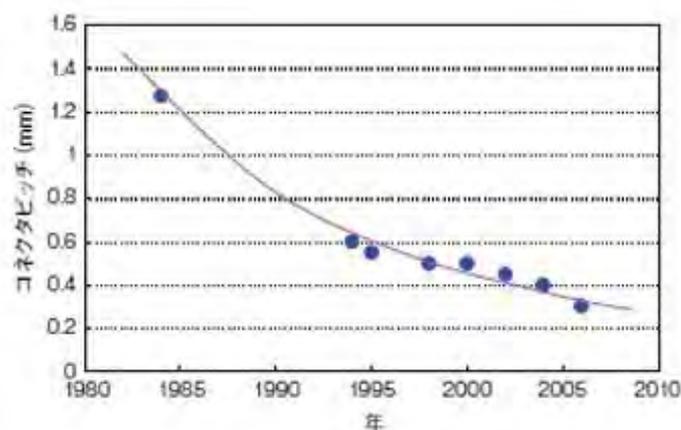


図5. コネクタピッチの推移

機器の小型化と共に高性能化、大容量データを処理するための高速伝送への対応や安全・快適な自動車などさまざまなニーズへの対応製品としてコネクタの開発が、今後も期待されている。

共通基盤技術研究開発で開発された $\text{Cu}_{96}\text{Zr}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}$ 非平衡結晶合金の実用化に向けた取組みとしては、イノベーション拠点立地推進事業で推進されている。

〈事業化スケジュール〉

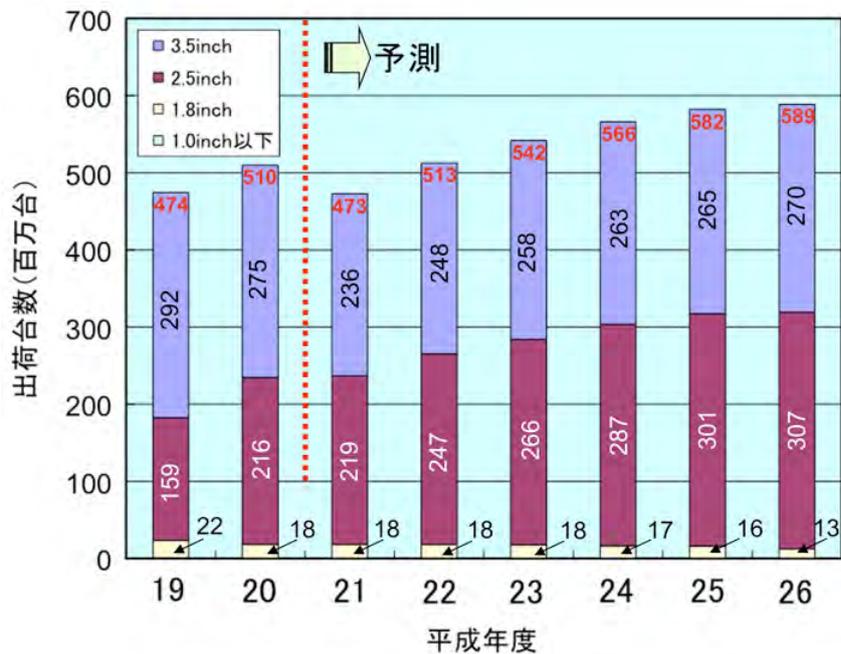
- 平成24～25年度：Cu-Zr-Ni系合金の鋳造設備、圧延設備の開発
- 平成25～26年度：ユーザ企業での材料評価、仕様の検討
- 平成26年度：新合金を用いた電気接点製品の仕様決定
- 平成27年度以降：ユーザ企業における新合金適用製品開発等

4-2 波及効果

「材料技術の推進に当たって、基礎的・先導的な研究開発や産業化をも視野に入れた基盤技術の開発といった、市場原理のみでは戦略的・効果的に達成し得ない領域の研究開発を重点的に推進」できことより、本プロジェクトの目的とした、金属ガラス単相・複合化金属ガラスを用いた以下の製品への応用に目処が立った。

①次世代高密度磁気記録媒体の開発

平成26年におけるHDD製品別の市場規模予測（ワールドワイド）は、図3のように予測されている。



（株式会社キメラ総研 2009 ストレージ関連市場調査を参照に作成）

図3. ワールドワイドにおけるHDDのフォームファクターで整理した製品別の市場規模の推移

また、HDDの標準的価格は、（3.5インチ＝¥10,000）、（2.5インチ＝¥5,000）、（1.8インチ＝¥5,000）及び（1.0インチ以下＝¥20,000）とされていることからHDD市場全体では、4兆3千億円と見込まれている。そのうち磁気記録媒体は、HDD全体の10%といわれていることより、4,300億円規模の市場規模とされているが、HDD機器の低価格化等により最新では、3,750億円規模の市場と見込まれている。代替されるものではなく、新規創出の市場であることより年少なくとも3,750億円の売上の効果が期待される。かつ、世界市場における日本企業の市場シェアは、25～30%、特に先端技術部品については、100%に近いシェアとされていることより、日本における売上寄与は、3,750億円／年が期待される。

また、面記録密度が $2\text{Tb}/\text{in}^2$ を超えるBPMの実用化においては、磁気記録密度が平成19年度において $300\text{Gb}/\text{in}^2$ に比較し、平成30年度において $2\text{Tb}/\text{in}^2$ に移行することで、原油換算で10億KLの省エネルギー効果が期待される。

事業化に向けての取組みとしては、共通基盤技術開発で開発、実用化技術開発で実証されたナノインプリント技術の量産技術としての低スループットの問題解決にむけて、戦略的高度基盤技術開発事業にアドバイザーとして参画し、高スループット技術開発を支援しながら量産技術開発を推進している。

②超微小モータ用部材の開発

事業者による内視鏡・カテーテルにおけるマイクロモータの直径ニーズ調査（平成18年度）結果は、下図のようになっており、25%が1mm以下を希望している。小径化ニーズは、拡大傾向にあり、平成28年度には、40%に増大するのではないかと想定されている。

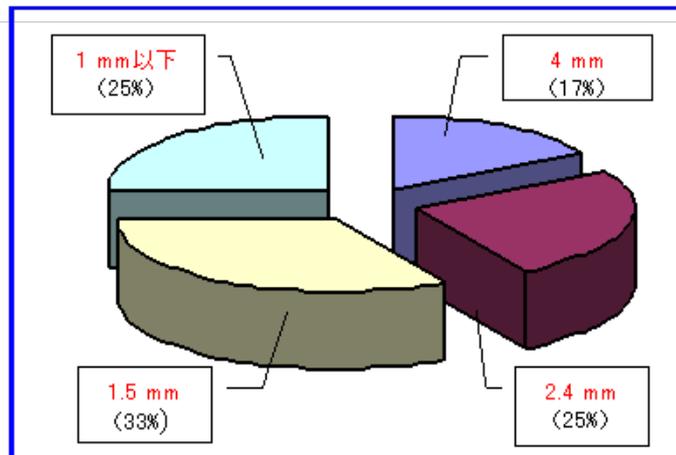


図6. 直径ニーズ調査結果

平成28年度における有望アプリケーションとモータ搭載数予測は、

血管内 DCA カテーテル	12,000 個
血管内 OCT 内視鏡	12,000 個
その他医療アプリケーション	2,000 個

となると算出されている。ギヤードモータ価格を量産開始時における市場要求価格から算出すると、微小モータ市場規模は、13億円/年とされる。また、モータを搭載した医療機器市場での波及効果は110億円/年と期待される。

③高強度・高導電性電気接点部材の開発

事業者による調査結果、コネクタ市場は40億ドルを越える市場で、国内

売上は 452 億円/月（平成 20 年 1 月時点）であった。米国・サブプライムローン問題に起因する金融不況によって、平成 22 年時点では最盛期の 80% 程度まで回復した。

コネクタ市場において、1) 電子機器の小型・軽量化、電子回路の高集積化、実装密度の向上化、携帯電話のスリム化等に必要されるコネクタの更なる狭ピッチ、低背、薄型化、2) 伝送速度の高速化、耐久性向上等に必要とされるコネクタの高性能化・環境対応化が希望されている。そのような状況下において高性能を維持し、低背・薄型化を可能とする材料としては銅ベリリウム合金が適用されている。しかし、ベリリウムは、ヨーロッパ、IARC（国際がん研究機関）等において発がん性物質であるとの評価がなされており、代替材料の開発が成されない場合には、将来的に規制導入により供給途絶が起きかねない。

銅ベリリウム合金の市場は、国内販売量 300t/月、海外販売量 600t/月で世界販売量は、900t/月で推移している。コネクタ用銅ベリリウム合金は、国内で 180t/月で 86.4 億円/年の市場となっている。

既にヨーロッパ製品で銅ベリリウム代替が始まり、コルソン合金などに変わりつつあること、新規開発材料による銅ベリリウム代替を 25%程度と予測すると、新規市場効果としては、20 億円/年の市場創出が期待される。

事業化に向けての取組みとしては、共通基盤技術開発で開発された、 $\text{Cu}_{96}\text{Zr}_{3.5}\text{Ni}_{0.5}$ 合金について、イノベーション拠点立地推進事業において、1) 連続鋳造設備開発、2) 精密圧延設備開発を平成 24 年度から開始し、開発された材料の実用化・製品化に向けて技術開発を推進している。

5. 研究開発マネジメント・体制等

5-1 研究開発計画

本研究開発は、財団法人次世代金属・複合材料研究開発協会（RIMCOF）（現 一般財団法人素形材センター）が独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託事業として実施した。平成22年度までNEDOにおいて実施され、平成22年に刷新会議の指摘を受け、研究マネジメントの見直しを行い、平成23年度は経済産業省直執行となった。開発期間中は、平成19年度から平成23年度の5年間で、事業最終年度の平成23年度末には、実用化要素技術のブラッシュアップに繋げ、多様な工業製品開発を国民での開発開始となる計画であった。

表3に示すスケジュールに沿って実施され、研究開発計画は妥当であったと考えられる。

表3. 研究開発計画

開発テーマ		平成19年度	平成20年度	平成21年度 <small>中間評価</small>	平成22年度	平成23年度
①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術	合金創製	軟磁性層探索 硬磁性層探索	積層化	プロセス融合 試作	合金特性 ブラッシュアップ	要素技術確立 応用分野の 拡張可能性検討
	超高密度パターン形成	FIB加工 インプラント基礎評価	合金創製 インプラント	試作	実用化プロセス 検討	
	磁気特性の測定・評価	基礎評価技術確立	メディア 成立性評価	評価結果 フィードバック		
④次世代高密度磁気記録媒体の開発				試作部材評価	実用化試験実施 評価設備導入	実用化要素技術 ブラッシュアップ
②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術	合金探索	単相金属ガラス評価 複合化金属ガラス評価	試作	合金特性 ブラッシュアップ	要素技術確立	応用分野の 拡張可能性検討
	ギヤ等の成形技術	精密プレス 基礎評価	精密プレス プロセス 構築	実用化プロセス 検討		
⑤超微小モータ用部材の開発				試作部材評価	実用化試験実施 評価設備導入	実用化要素技術 ブラッシュアップ
④複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術	合金創製	ホットプレス 基礎評価	合金組成 決定	試作	合金特性 ブラッシュアップ	要素技術確立 応用分野の 拡張可能性検討
	精密薄板の作製技術	クラッド等 基礎評価	試作プロセス 検討	実用化プロセス 検討		
⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発				試作部材評価	実用化試験実施 評価設備導入	実用化要素技術 ブラッシュアップ

<事業スケジュール>

- 平成19年度：基礎試験評価設備の導入、基礎試験実施、中間目標達成可能な試作プロセスの提言。
- 平成20年度：成形加工技術の開発、試作部材評価による性能確認、試作評価プロセスの確立。
- 平成21年度：（中間評価）基礎評価結果のフィードバック、合金特性ブラッシュアップ、実用化プロセス検討。
- 平成22年度：実用化試験評価設備の導入、実用化試験の実施、実用化要素技術の確立。

- 平成23年度：実用化要素技術のブラッシュアップ、応用分野の拡張可能性検討（事後評価）

平成21年度に実施した中間評価により、

- ・「プロジェクトリーダー及びサブリーダーの強い指導力の下に中間目標が全て達成され、金属ガラスの材料としての優れたポテンシャルを複合化によりさらに高めることに成功している」
- ・「実用化分野は、技術革新のスピードが速い上、ニーズの変化も激しい。プロジェクトの推進中であっても、実用化イメージ、目標の見直しにあたっては、市場変化に柔軟に対応することが必要であろう。場合によっては、当初の計画に縛られず、応用の見通しが得られた技術の研究開発に注力しても良いであろう」
- ・「実用化への課題は製品コストであり、特に材料から製品までを考慮した製造技術（トータルコスト）から見た研究開発を心がけて欲しい。」

との提言から、早期に実用化に結びつく実用化事業計画を立案した。

実施体制において参画企業の変更が生じ、①次世代高密度磁気記録媒体の実用化技術開発については平成23年度からの開始となった。

5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

5-2-1 研究開発の実施体制

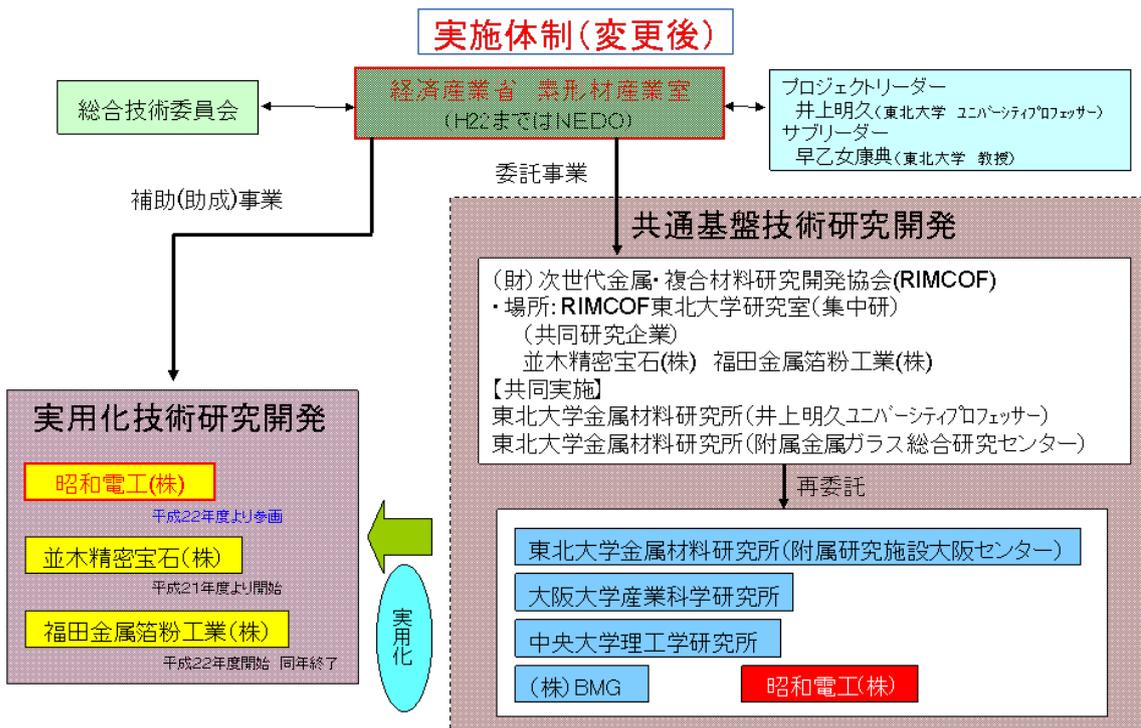
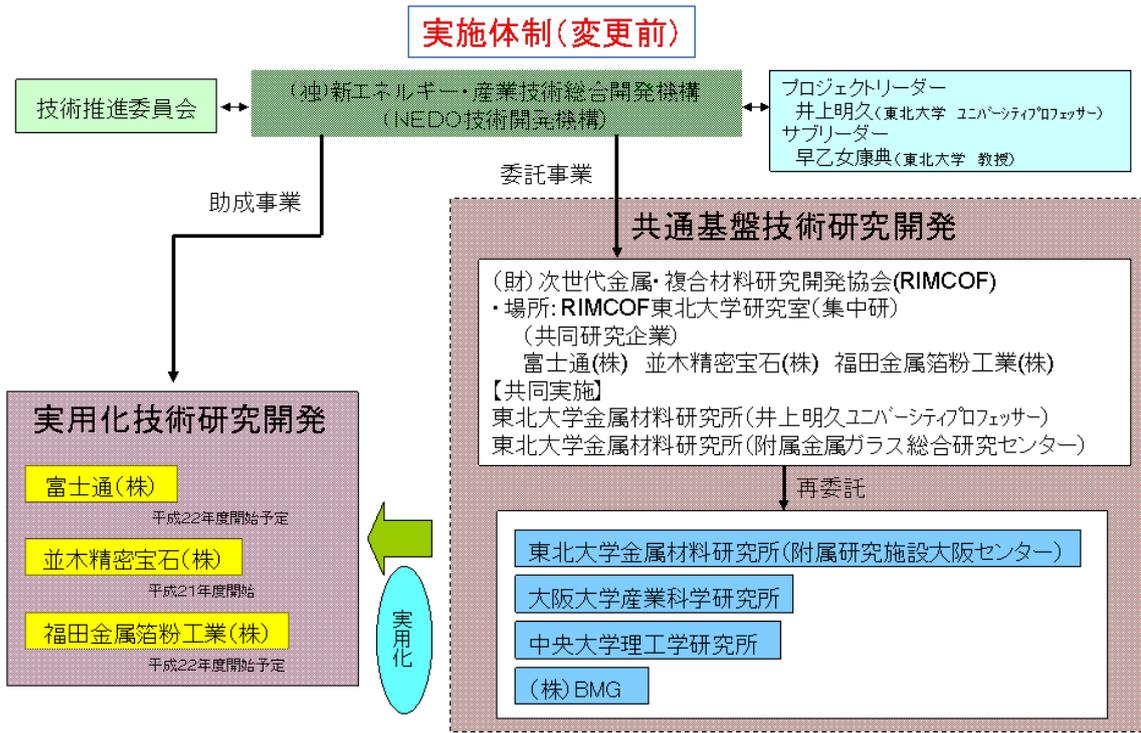
本研究開発は、図7に示すように、委託事業により共通基盤技術研究開発を行い、その成果を活かして補助（助成）事業により実用化技術研究開発を行う体制とした。

委託事業として、NEDOが公募を行い、RIMCOFを選定し、助成企業を加えた研究開発実施体制を構築した。

本研究開発全体の効率的な推進を図るため、研究開発責任者（プロジェクトリーダー）として、国立大学法人東北大学総長 井上明久ユニバーシティプロフェッサーを指名し、東北大学の金属材料研究所内にRIMCOF東北大学研究室として集中研究室を設置し、民間企業の研究員が出向し、効率的な研究開発を実施した。また、井上ユニバーシティプロフェッサーの指導の下、金属ガラスの合金創製技術と成形加工技術の共通基盤技術研究開発に取り組んだ。以上のような体制により、RIMCOFでの研究開発進捗、民間企業の研究開発進捗及びグループの意思決定を一元管理できる体制にした。また、委託事業での成果を活用し、補助（助成）事業により、複合化金属ガラスに係る実用化技術研究開発を実施した。

具体的な実施体制は、RIMCOF東北大学研究室の研究員に加えて富士通（株）（平成21年3月迄）、並木精密宝石（株）（平成22年6月迄）及び福田金属箔粉工業（株）からの出向研究員により、集中的に共通基盤技術研究開発

を行った。また、並木精密宝石（株）（平成21年4月以降）、福田金属箔粉工業（株）（平成22年度）及び昭和電工（株）（平成22年3月以降）が、共通基盤技術研究開発の成果を活用し、実用化技術研究開発を行った。さらに、国立大学法人東北大学金属材料研究所、国立大学法人東北大学金属材料研究所金属ガラス総合研究センターが共同実施先として、国立大学法人東北大学金属材料研究所附属研究施設関西センター、国立大学法人大阪大学産業科学研究所、学校法人中央大学理工学研究所、（株）BMG及び昭和電工（株）（平成21年8月以降）が再委託先として共通基盤技術研究開発を産・学連携のもとに実施した。



変更前後について

- ・富士通(株)事業撤退にともなう体制変更(平成21年度)
- ・共通基盤技術研究開発進捗にともなう体制変更(平成22年度)
- ・事業委託元変更にともなう体制変更(平成23年度)

図7. 研究開発実施体制

5-2-2 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・運営の責任を有する経済産業省（及びNEDO）は、研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を行なった。プロジェクトリーダーは、プロジェクトの技術目標達成のための研究者の選任、予算の配分、年度毎の概算要求案の策定、研究計画の変更に対する助言・指導や、研究進捗管理としての研究経過の報告や、研究成果の取り扱いに関する知的財産や論文発表の管理を行った。

また、委託事業として行なわれた共通基盤技術研究開発について、研究開発の進捗状況と成果について、メンバー相互の情報共有化を図りつつ、研究開発の目的及び目標の達成に向けてプロジェクトの最適化と効率的運営、実用化開発事業への円滑な移行を推進することを目的として、以下の委員会等を設置した。

（１）外部有識者による技術推進委員会

研究開発の目標達成度を把握するとともに、資源配分の判断等に資することを目的に、表４に示す外部の専門家、有識者等によって構成される技術推進委員会を設置し、平成２０年度及び平成２２年度に開催した。

表４．技術推進委員会委員名簿

	氏名	所属・部署	役職
委員長	木内 学	東京大学	名誉教授
委員	田上 勝通	前 TDK 株式会社 SQ 研究所	前 研究所長
委員	肥後 矢吉	立命館大学 総合理工研究機構	客員教授
委員	丸山 正明	技術ジャーナリスト	

（平成２２年１１月９日 第２回委員会）

（２）プロジェクト内の委員会等

四半期に一回程度研究開発責任者等を交えて、研究開発全体の進捗管理、研究連携、事業の推進を図るため、総合技術委員会を表５のとおり開催した。

また、総合技術委員会の構成メンバーは、プロジェクト関係者（委員）、外部有識者（外部委員）からなる。総合技術委員会の構成メンバーを表６に示す。

表5. 総合技術委員会を開催実績

開催日	委員会名
平成19年8月7日	平成19年度 第1回総合技術委員会
平成19年12月19日	平成19年度 第2回総合技術委員会
平成20年3月17日	平成19年度 第3回総合技術委員会
平成20年8月11日	平成20年度 第1回総合技術委員会
平成20年12月25日	平成20年度 第2回総合技術委員会
平成21年3月6日	平成20年度 第3回総合技術委員会
平成21年7月10日	平成21年度 第1回総合技術委員会
平成21年10月20日	平成21年度 第2回総合技術委員会
平成21年12月24日	平成21年度 第3回総合技術委員会
平成22年3月11日	平成21年度 第4回総合技術委員会
平成22年6月16日	平成22年度 第1回総合技術委員会
平成22年9月22日	平成22年度 第2回総合技術委員会
平成22年12月14日	平成22年度 第3回総合技術委員会
平成23年3月8日	平成22年度産業技術研究開発 第1回総合技術委員会
平成23年3月11日	平成22年度 第4回総合技術委員会
平成23年7月21日	平成22年度産業技術研究開発 第2回総合技術委員会
平成23年10月14日	平成22年度産業技術研究開発 第3回総合技術委員会
平成24年1月20日	平成22年度産業技術研究開発 第4回総合技術委員会
平成24年3月14日	平成22年度産業技術研究開発 第5回総合技術委員会

表 6. 総合技術委員会委員名簿

	氏 名	所 属	役 職
委員長	井上 明久	東北大学	ユニバーシティプロフェッサー、 総長
副委員長	早乙女康典	東北大学 金属材料研究所	教授
外部委員	藤森 啓安	東北大学	名誉教授
外部委員	中井 義之	日本圧着端子製造(株)	品質管理グループ 図面監査室室長 知財渉外室副室長
外部委員	真壁 英一	(株)BMG	代表取締役社長
外部委員	茂 智雄	昭和電工(株)	HD事業部門 技術開発部 副部長
外部委員	清水 幸春	並木精密宝石(株)	NJC 技術研究所 副所長
委員	牧野 彰宏	東北大学 金属材料研究所	教授
委員	石丸 学	大阪大学 産業科学研究所	准教授
委員	二本 正昭	中央大学 理工学部	教授
委員	竹内 章	東北大学 金属材料研究所 ／原子分子材料科学高等研 究	准教授
委員	加藤 秀実	東北大学 金属材料研究所	准教授

5-3 資金配分

本研究開発の平成19年度～平成23年度の予算（実績額）の推移を表7に示す。

表7. 資金配分

（単位：百万円）

年度 平成	19	20	21	22	23	合計
(独) NEDO	11	8	6	16	21	62
研究委託費・補助金	495	353	279	189	454	1,770
①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術	378	181	149	90	262	1,060
②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術	68	62	60	12	0	202
③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術	49	110	66	40	100	365
④次世代高密度磁気記録媒体の開発	0	0	0	0	60	60
⑤超微小モータ用部材の開発	0	0	4	42	32	78
⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発	0	0	0	5	0	5
合計	506	361	285	205	475	1,832

5-4 費用対効果

金属ガラスの单相合金においては、実用化のための研究開発が進められており、その成果により世界トップレベルの製品の実現に目処がつけられてきている。本研究開発で取り組んだ複合化金属ガラスを実用化することにより、以下の市場規模が期待される。

開発費用総額	:	約18億円(5年間)	
市場の効果	:	総額3,880億円	
		(平成26年度)	(HDDまで拡げると43,130億円)
次世代高密度磁気記録媒体開発		3,750億円/年	
超微小モータ部材開発		110億円/年	
高機能電気接点部材開発		20億円/年	

次世代高密度磁気記録媒体開発については、平成26年における年間の市場規模として、ハードディスクドライブ全体の売上高は4兆3千億円と見込まれており、そのうちハードディスクは、10%程度とされていることより、ハードディスクの売上は、3,750億円と言われている。これは、代替されるものではなく、新規に創出されることより3,750億円/年が期待される。かつ、世界市場における日本企業の市場シェアは、25~30%、特に先端技術部品については、100%に近いシェアとされていることより、日本における売上寄与は、3,750億円/年が期待される。

超微小モータ部材開発により、世界最小マクロギヤードモータ開発がなされた。製品の有望なアプリケーションとしては、先端医療機器等への搭載・医療機器の開発支援である。平成28年には、マイクロギヤードモータを用いた機器の搭載予測が、

血管内DCAカテーテル	12,000個
血管内OCT内視鏡	12,000個
その他医療アプリケーション	2,000個

であることより、超微小モータ市場規模は、13億円/年が期待される。なおかつ、製品化可能なのが日本企業一社であることより、日本における先端医療機器開発に寄与することが期待され、超微小モータを搭載した医療機器で110億円/年程度の新規医療機器市場が創出されることが期待される。

銅ベリリウム合金の主な製造・供給は日本企業が行っており、50%程度のシェアを有しているとされている。また、低価格な電気接点用材料供給は、中国が大きく躍進しており、コネクタ市場における中国の脅威が指摘されている。当該プロジェクトで開発された新規合金が実用化されることで、新規市場とし

て20億円／年の市場創出が期待されるとともに高性能化で中国メーカーに対抗することが期待される。

5-5 変化への対応

5-5-1. HDD業界動向：情勢変化への対応

富士通(株)のハードディスクドライブ記録媒体事業の譲渡に関する発表(平成21年2月17日)に伴い、富士通(株)での記録媒体に関する研究開発も終息し、本プロジェクトからも平成20年度末をもって撤退することになった。富士通(株)は、これまで共通基盤技術研究開発「複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術」においてRIMCOF東北大学研究室に参画し、硬磁性を付与したドットパターンの磁気特性を測定評価し、得られた結果を合金創製の研究開発やナノパターン形成の研究開発に反映する役割を担ってきており、平成22年度から助成事業「次世代高密度磁気記録媒体の開発」として参画する予定であった。委託事業を継続するため、富士通(株)に代わる企業を模索したところ、同社のHDD記録媒体事業の譲渡先である昭和電工(株)がRIMCOFからの再委託先として参画することとなった。これまで富士通(株)が実施してきたように、昭和電工(株)は、実用化の視点から記録媒体の特性評価解析を行い、共通基盤技術研究開発へ効率的なフィードバックを実施するとともに、実用化技術研究開発を実施し、共通基盤技術研究開発の成果のひとつである零磁歪軟磁性裏打ち層の試作レベルでの特性評価及び実用化について検討を行った。また、次世代高密度磁気記録媒体の開発としては、ビットパターンドメディアの平坦化に関する研究開発を実施し、磁気ヘッドを所要条件である10nm以内の高さで安定的に保持できることを確認するとともにビットパターンドメディアの実証を行なった。

5-5-2. 共通基盤技術研究開発の進捗

複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術を担当する並木精密宝石(株)は、平成22年度までに委託事業の最終目標を全て達成し、平成21年度から助成事業(補助(助成)率1/2以内)で実施する直径0.9mmのギヤードモータ開発を目標とした実用化技術「超微小モータ用部材の開発」平成22年度下期より専念・注力することとした(平成22年11月9日 技術推進委員会)。

5-5-3. 実用化技術研究開発の進捗

複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術を担当する福田金属箔粉工業(株)は、金属ガラス粉末の複合材から薄板材を作製し、カードコネクタを試作評価した結果、コネクタへの適用が困難と判断し、平成22年度末をもって実用化技術研究開発から撤退することとした。

中間評価における、「当初の計画に縛られず、応用の見通しが得られた技術の研究開発に注力しても良いであろう。」及び「材料から製品までを考慮した製造技術（トータルコスト）から見た研究開発を心がけて欲しい。」との提言から、共通基盤技術研究開発として、「金属ガラス生成成分則」を活用した合金創製についても並行して研究開発を進めた。平成22年度末での実用化技術研究開発からの撤退にともない、平成23年度は共通基盤技術研究開発として高強度・高導電性電気接点部材の開発及び試作開発を進め、新たな合金の創製及び薄板化に成功し、試作・評価を行った。

プロジェクト用語集

ガラス遷移: ガラス転移とも呼ばれ、融点以下の過冷却液体がもはや流動性をもつ液体として存在できずガラス固体として固化する現象であり、可逆性を示す。ガラスの状態や昇降温速度に依存し一義に決められないが、比熱測定、熱分析、動的粘弾性測定により観測される。

核生成頻度: 単位体積・単位時間あたりの核生成数密度。核生成数密度は試料の体積の影響を受ける。また、試料表面と内部で核生成頻度が異なる。

【硬磁性・ナノ構造部材】

複合化金属ガラス: ガラス相のみからなる単相金属ガラスに対し、金属ガラスマトリックス中に結晶粒子、ポロシティーを導入、あるいは異なる金属ガラス薄膜を積層により金属ガラス以外の物質と複合化したものを単相金属ガラスと区別し、複合化金属ガラスと呼ぶ。

ナノ結晶分散型非晶質: 合金組成の調整、作製時の冷却速度調整、あるいは非晶質合金の熱処理により非晶質合金マトリックスにナノ結晶粒子を分散させた材料。非晶質合金の強度と靱性、あるいは軟磁気特性の向上が可能と報告されている。

零磁わい: 磁性体の磁化の強さを変化させると磁性体内部にひずみが発生する。これを磁わい、あるいは磁気ひずみと呼び、特に正の磁わい定数と負の磁わい定数を示す材料を組み合わせると磁わい定数を 10^{-6} 台以下に調整した材料を零磁わい材料と呼ぶ。

非磁性: 強磁性を示さない物質を指し、反磁性体、常磁性体、反強磁性体に分類される。

硬磁性: 保磁力が大きいことを特徴とする磁性材料であり、永久磁石あるいは磁気記録用材料として用いられる。

軟磁性: 透磁率が大きく保磁力の小さな磁性材料であり、トランスおよびコイル等の磁心、磁気ヨーク、磁気シールド材料として用いられる。

ガラス遷移: ガラス転移とも呼ばれ、融点以下の過冷却液体がもはや流動性をもつ液体として存在できずガラス固体として固化する現象であり、可逆性を示す。ガラスの状態や昇降温速度に依存し一義に決められないが、比熱測定、熱分析、動的粘弾性測定により観測される。

ガラス遷移温度 (Tg): 上記のガラス遷移を起こす温度。

エルステッド (0e): CGS電磁単位系・ガウス単位系における磁場 (磁界) のつよさの単位である。SIにおける磁場の強さの単位はアンペア毎メートル (A/m) である。 $10e = 10 / (4\pi) (A/Gb) / 0.01 (m/cm) = 1000 / (4\pi) A/m = \text{約} 79.577A/m$ となる。

エレクトロ・マグネチック・ユニット毎立法センチメートル

ル(emu(=Electromagnetic system of units)/cc):電磁単位系で表現した物質の単位体積あたりの磁気モーメントのことである。また、外部から物質に磁場をかけた際に、その物質の周囲に新たに磁場が誘発され、物質がこのように磁場を持つようになる場合の磁化。 $1\text{emu}/\text{cm}^3 = 4\pi \times 10^{-4}\text{Wb}/\text{m}^2$ 。

ビットパターンメディア(BPM=bit patterned media):ビットパターンメディア(「パターンメディア」とも称す。)とは、ハードディスクなどに用いる磁気記録媒体の構造の一種で、磁性粒子が人工的に規則正しく並べられた記録媒体のこと。従来のハードディスク記録媒体は、円盤状のガラスや金属の上に磁性粒子の膜を形成する構造となっており、一定程度数の磁性粒子がまとまって記録単位(ビット)を記録している。しかし、記録密度を高めていけばいくほど、記録されたデータは安定状態に保てなくなる「熱揺らぎ」の問題に直面し、物性的な限界に直面してしまうことになる。パターンメディアでは、論理的に磁性粒子1つにつき1ビットの記録が可能となるので、従来の記録媒体よりも大容量化して熱揺らぎの問題を突破することが可能であると考えられている。

異方性磁界(Hk):強磁性体を磁化する際に、結晶軸の向きにより磁化し易い方向(磁化容易軸)と磁化し難い方向があることを磁気異方性と呼ぶ。この磁化困難軸方向で磁化が飽和する磁場が異方性磁界である。

飽和磁化(Ms):強磁性体内の磁区全てが外部磁場の増加に伴い一つの磁区として振る舞い、これ以上磁化できない状態を磁気飽和といい、このときの磁化の値を飽和磁化と呼ぶ。

飽和磁束密度(Bs):上記、飽和磁化の値を体積で除した、単位体積あたりの飽和磁化を飽和磁束密度と呼ぶ。

保磁力(Hc):強磁性体に外部磁場を与えると着磁し、そこから外部磁場を取り除いても強磁性体の磁化はゼロに戻らず残留磁化として残る。さらに逆向きの外部磁場を印加し強磁性体の残留磁化がゼロになったときの外部磁場の強さを保磁力と呼ぶ。

ハードディスクドライブ(HDD):磁性体を塗布した硬質円盤を回転させ、その上を記録再生可能な磁気ヘッドを移動させることで情報を記録あるいは読み出す情報記録装置。

パルスレーザーデポジション(Pulsed Laser Deposition;PLD)法:予め組成調整されたターゲットにパルスレーザーを集光し、レーザーエネルギーで励起された蒸発物質を基板の堆積させる薄膜創製法。マグネトロンスパッタ法に比べエネルギーが大きく、ターゲット組成に近い成膜が可能である。

インプリント加工:凹凸をもったパターンを可塑性材料に押し付けて転写する技術。太古のコイニングも一種のインプリント加工である。現在では数10nm~数100nmの微細パターンを樹脂あるいは高分子材料に押し付けて微細成形を行うナノインプリントが一般的になりつつある。光硬化インプリン

トと熱インプリントに大別され、共に大面積パターンを低コストで大量生産できる可能性をもつ。

マグネトロンスパッタリング(MGS)法:ターゲット裏面に磁石を設置することによりターゲット表面に平行する磁界を生じさせ、グロー放電で生成したイオンをターゲット表面に衝突させる。ターゲットより弾き出された二次電子をターゲット表面の磁界でトラップするため基板温度の上昇を抑えながら高成膜速度が得られる利点を有する。但し、強磁性体ターゲットでは磁界の影響が懸念される。

発光分光(ICP)分析:気体に高電圧を印加してプラズマ化し、高周波磁場でプラズマ内部の渦電流によるジュール熱でさらにプラズマを高温化させる。この誘導結合プラズマを用いて分析試料を熱的に励起・原子化し、基底状態に戻る時の発光スペクトルから元素の同定と定量を行なう分析法である。

X線回折(XRD)法:結晶に X線を照射することで、ブラッグの条件を満たした結晶格子からのX線反射を幾何学的に解析することにより結晶構造を解析する手法である。

ブラッグピーク:上記のX線回折法でブラッグの式を満たし、結晶格子からのX線回折強度がある角度でピークをとる。このピークをブラッグピークと呼ぶ。

ハローパターン:非晶質物質あるいは金属ガラスのように明確な結晶格子をもたず、原子間距離に分布のある構造体では、上述のブラッグピークは得られず輪郭のぼけたパターンが得られる。これをハローパターンと呼び、X線あるいは電子線での回折を用いて非晶質構造の解析に利用される。

透過型電子顕微鏡(TEM):観察試料に電子線を照射し、試料を透過した電子が作り出す干渉像を拡大して試料構造を直接観察する顕微鏡。

示差走査熱量計(DSC):測定試料と基準物質の間の熱量差を定量的に計測することで、融点やガラス遷移温度を測定する熱分析手法。

電界放射型走査電子顕微鏡(FE-SEM):試料の表面に電子線を走査させ、試料から発生する二次電子、反射電子を像として観察する電子顕微鏡の一種。特に、電子線源が電界放射型のものを FE-SEMと呼び、熱電子銃方式に比べ高解像度が得られる利点がある。

原子間力顕微鏡(AFM):観察試料と探針(カンチレバー)の間にはたらく原子間力を検出し、像として二次元的に可視化することで観察試料の表面形状を測定する手法。トンネル電流を用いる STMとは異なり絶縁物質も観察できる。

表面粗さ:測定試料の表面凹凸を接触あるいは非接触で測定し、そのプロファイルの縦方向中心線でプロファイルを折り返し、得られた重ね合わせ粗さ曲線と中心線で囲まれた面積を測定長さで除した値を中心線平均粗さ(Ra)、プロファイルの最大高さとの差の値を最大粗さ(Rmax or Ry)と称する。

振動試料型磁力計(VSM):磁場中で測定試料を磁場に対して垂直に振動させると、

その廻りに設置いた導線にフレミングの法則により誘導電流が発生する。

この誘導電流を測定することにより測定試料の磁化率を測定する。

集束イオンビーム(FIB:Focused Ion Beam):一般に Ga^+ のイオンを電界で加速しながら数100nmから数nmに絞ったビーム。試料表面の原子を弾き飛ばす(スパッタリング) ことにより試料を削ることができるので、ナノ加工に用いられる。

カンチレバー:本研究開発項目では、AFM測定の探針をカンチレバーと呼ぶ。グラッシーカーボン(GC:Glassy Carbon):代表的な炭素電極材料。緻密で硬く導電性もあり使い易い。構造はベルト状グラファイトリボンが互いに絡みあった非晶質構造をなすといわれている。

ダイヤモンド・ライク・カーボン(DLC:Diamond Like Carbon):炭素の同位体あるいは炭化水素からなる非晶質硬質膜。熱CVDやPVD法で成膜される。硬質であることから各種工具、治具の表面処理に利用される。最近では良好な耐焼き付き性や離型性からナノインプリント金型にも用いられている。

化学気相成長(CVD:Chemical Vapor Deposition)法:熱分解による生成物や化学反応により薄膜を形成する手法。高純度薄膜が作製可能で被覆性に優れるが、基板や原料ガスに制限があり作製できる膜も限られる。溶融温度(T_m):物質が固体から液体へと相変態する温度。

粘性係数:粘度あるいは粘性率とも呼ばれ、物質の流動し難さを表す単位。

【高強度・超々精密部材】

圧縮強さ: JIS B7733に規定される圧縮試験で材料が破断するまでに得られた最大圧縮荷重を、その時の試料断面積で除した値を圧縮強さと呼ぶ。

塑性伸び:金属試料の圧縮あるいは引張試験を行なうと、あるひずみ領域まではフックの法則に従い弾性変形する。ひずみが比例限度と呼ばれるこの領域の範囲内であれば除荷するとひずみは原点に戻る。しかしながら、比例限度を超えてひずみを与えると除荷してもひずみは原点に戻らず塑性伸びと呼ばれる永久変形が残る。金属試料が破断するまでひずみを与えて破断したときのひずみ値から弾性変形領域である比例限度のひずみを差し引いたひずみ値が塑性伸びである。

ギヤ:歯車。互いに噛み合う歯を有し、円運動をしながら主に動力伝達に用いられる機械要素の一つである。

遊星歯車:回転軸が公転しつつ歯車自身が自転する歯車を遊星歯車と呼ぶ。太陽歯車と組み合わせると大きな減速比が得られる減速機構を構成する。

太陽歯車(ピニオン):上述の遊星歯車と噛み合い、自身は公転することなく自転のみを行なう歯車を太陽歯車と呼ぶ。遊星歯車と共に用いられ減速機構を構成する。

ホブ切り:ホブと呼ばれる刃物を回転させながら歯車の歯切り加工を行う機械

加工方法。ホブ盤と呼ばれる加工装置を用い、被加工材もホブと同期させ回転運動しながら平歯車、はすば歯車、ウォーム歯車等が加工可能である。

【高強度・高導電性部材】

非平衡結晶合金:合金のなかでも特に、合金平衡状態図に記載の無い非平衡相からなる、あるいは記載の無い相を一部含むような合金。平衡状態よりも多い溶質元素の固溶、特殊な構造の化合物相の析出、または結晶粒の微細化等により新奇な特性を発現する。

押出:金属の加工方法に一種。素材を加圧しダイス(金型)の孔より押し出す方法で、棒、管、あるいは複雑断面形状の長尺製品が加工できる。本研究開発項目では素材を缶詰めした粉末押出を固化成形技術として用いている。

導電率(% IACS, International Annealed Copper Standard):国際焼鈍銅線標準で定められた標準銅線の比抵抗($1.7241 \times 10^{-8} \Omega m$)に対する材料の比抵抗を百分率で表した値。

冷間圧延:一対の金属ロールの間隙に素材を通し板状の製品を得る金属加工法。特に常温、あるいは多少の加熱で行なう圧延を冷間圧延と呼ぶ。常温近傍での加工であるが故に、大きな荷重が必要となるが、表面平滑性、光輝性に優れた板材が得られる。

温間圧延:冷間圧延に対し、材料の再結晶温度以上で行なう圧延を熱間圧延と呼び、低荷重で大変形が可能である。ここでの温間圧延は、常温と再結晶温度の間で行なう圧延を温間圧延と呼んでいる。

クラッド:性質が異なる二種類または、それ以上の金属同士を貼り合わせた材料をクラッド材と呼ぶ。プレス、圧延等により作製される。

時効熱処理:急冷等により溶質元素を過飽和に固溶した材料を加熱保持することで微細な第二相を分散析出させる熱処理。第二相の分散析出で強度、靱性等が向上する。

金属間化合物相:二種類以上の金属により構成される化合物。一般に構成元素に比率は整数である。構成元素の性質を反映せず、特有の性質を示す。

デンドライト:樹枝状結晶とも呼ばれる金属結晶の典型的な凝固組織。溶融液体中の結晶に優先成長方位があり、固液界面での溶質元素の濃度勾配が大きい場合に生成する。

共晶組織:一つの溶融合金から二つ以上の固相が同時に凝固生成した場合にできる組織。一般に密に混合した組織となる。

放電加工:銅や黄銅等の比較的柔らかい金属細線を利用し、金属を切断する加工方法。加工液の中の被加工材料に金属細線を数10 μm 程度まで近付け、両者に100 V以上の電位差を与える。数10 μm の間隙でアーク放電が生じ被加工物表面が溶融することで切断等の加工がなされる。

ストレスオーバーシュート:ひずみ速度が大きな場合に高分子材料の内部構造

変化が変形に追従できず、温度あるいは平衡粘性率から見積もられる変形応力よりも大きな弾性的挙動を示す。ポリマー等の高分子材料では一般的だが、近年、金属ガラスの過冷却液体(特に T_g 近傍)でも同様の現象が確認され、基礎研究が進展している。

国際会議等の略称

ICAUMS : International Conference of the Asian Union Magnetic Societies

MMM : Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials

AWMFT : The Asian Workshop on Nano/Micro Forming Technology

REPM : International Workshop on Rare Earth Permanent Magnets and the Applications

JEMS : The Joint European Magnetic Symposia

ISAMMA : International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Application

ISMANAM : International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials

ASNIL : The Asian Symposium on Nano Imprint Lithography

PMRC : The Perpendicular Magnetic Recording Conference

BMG : The International Conference on Bulk Metallic Glasses

ICAM : International Conference on Advanced Materials

SMM : Soft Magnetic Materials Conference.

THERMEC : International Conference on Processing & manufacturing of Advanced Materials

ICM : International Conference on Magnetism.

ICMAT : International Conference on Materials for Advanced Technology

IWMG : International Workshop on Structural and Mechanical Properties of Metallic Glasses

RQ : The International Conference on Rapidly Quenched and Metastable materials

1 特許出願リスト

- 1) 特開2010-106331, 強度と導電性を兼ね備えた複合化金属ガラスおよびその製造方法, 福田金属箔粉工業(株), 国立大学法人東北大学, 平成20年10月31日出願.
- 2) 特開2010-165392, 垂直磁気記録媒体及びその製造方法、並びに磁気記録装置, 富士通(株), 国立大学法人東北大学, (株)BMG, 平成21年1月13日出願.
- 3) 特開2010-165393, 垂直磁気記録媒体及びその製造方法、並びに磁気記録装置, 富士通(株), 国立大学法人東北大学, (株)BMG, 平成21年1月13日出願.
- 4) 特開2010-229461, 高強度・高導電性銅合金及びその製造方法, 福田金属箔粉工業(株), 国立大学法人東北大学, 平成21年3月26日出願.
- 5) 特開2009-181455, ナノ金型、金型の製造方法および磁気記録媒体の製造方法, (株)BMG, 国立大学法人東北大学, 平成21年8月4日出願.
- 6) 特願2011-064716, 磁気記録媒体及び磁気記録再生装置, 昭和電工(株), 国立大学法人東北大学, 平成23年3月23日出願.
- 7) 特願2011-077725, 銅合金および銅合金の製造方法, 国立大学法人東北大学, 平成23年3月31日出願.
- 8) 特願2012-039218, 磁気記録媒体及び磁気記録再生装置, 昭和電工(株), 国立大学法人東北大学, 平成24年2月24日出願.

2 新聞・TV等報道

- 1) 日刊工業新聞, 「金属ガラスで磁気記録 1テラビット以上の利用実証」平成21年8月6日掲載.
- 2) 電波新聞, 「NEDOが金属ガラスへのナノインプリント技術実証」平成21年8月6日掲載.
- 3) 化学工業日報, 「HD、テラビット級実証」平成21年8月6日掲載.
- 4) 日経BP社, Tech-On, 「RIMCOFら、金属ガラスと熱インプリントを利用したビット・パターン媒体作製技術を開発」平成21年8月6日web掲載.
- 5) Impress Watch社, PC Watch, 「NEDO、金属ガラスに1Tbit/平方インチ相当のHD用ビットパターンを形成」平成21年8月6日web掲載.
- 6) (米) Materials Research Society, Meeting Scene - ICAM2009, Brazil - Days 1, 2, 「PLENARY LECTURE - AKIHISA INOUE, Recent Developments and Applications of Bulk Glassy Alloys」平成21年9月23日メールマガジン配信..
- 7) (米) Materials Research Society, Meeting Scene - ICAM2009, Brazil - Days 1, 2, 「Symposium V: Structures and Properties of Metastable Materials, Glassy alloy composite for IT applications」平成21年9月23日メールマガジン配信..

3 発表論文リスト

【平成19年度】

- 1) S. Lee, H. Kato, T. Kubota, K. Yubuta, A. Makino, A. Inoue, Excellent thermal

stability and bulk glass forming ability of Fe-B-Nb-Y soft magnetic metallic glass, Mater. Trans., 49 No. 3(2008) 506-512

【平成20年度】

- 1) M. Ohtake, K. Shikada, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial growth of Co(0001)hcp/Fe(110)bcc magnetic bi-layer films on SrTiO₂(0001) substrates, J. Magnetism and Mag. Mater., 320 (2008) 3096-3099.
- 2) M. Ohtake, M. Futamoto, F. Kirino, N. Fujita, N. Inaba, Epitaxial growth of hcp/fccCo bi-layer films on Al₂O₃(0001) substrates, J. Appl. Phys., 03 (2008) 07B522.
- 3) A. Makino, T. Kubota, C. Chang, M. Makabe, A. Inoue, FeSiBP metallic glasses with high magnetization and excellent magnetic softness, J. Magnetism and Mag. Mater., 320 (2008) 2499-2503.
- 4) K. Shikada, K. Tabuchi, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, MgO 単結晶基板におけるFe 薄膜のエピタキシャル成長, J. Mag. Soc. Jpn., 32 (2008) 296-303.
- 5) Y. Yasui, K. Shimomai, M. Futamoto, 垂直磁気記録媒体の記録磁化状態に及ぼす温度及び外部磁場の影響, "J. Mag. Soc. Jpn., 33 (2009) 5-8.
- 6) M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, "Structure and magnetic properties of Fe/Au epitaxial multilayer films, Jpn. J. Appl. Phys., 47 (2008) 3450-3455.
- 7) A. Makino, T. Kubota, M. Makabe, C. T. Chang, A. Inoue, FeSiBP metallic glasses with high glass-forming ability and excellent magnetic properties, "PJ 開始前投稿 Mater. Sci. Eng. B, 148 (2008) 166-170.
- 8) T. Nishiyama, T. Tanaka, K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Growth of Ni Thin Films on Al₂O₃ Single-Crystal Substrates Growth of Ni Thin Films on Al₂O₃ Single-Crystal Substrates, Jpn. J. Appl. Phys., 48 (2009) 013003.
- 9) K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Structure and Magnetic Properties of FeCo Epitaxial Thin Films, J. Mag. Soc. Jpn., 33 (2009) No.2 85-94
- 10) A. Makino, A. Kazahari, W. Zhang, K. Yubuta, T. Kubota, A. Inoue, Synthesis of soft/hard magnetic FePt-based glassy alloys with supercooled liquid region, J. Appl. Phys., 104 (2008) 103540.
- 11) N. Kaushik, P. Sharma, H. Kimura, A. Inoue, A. Makino, Exchange coupling in nanocomposites FePtB thinfilm magnets J. Appl. Phys., 103 (2008) 07E121.
- 12) Y. Nukaga, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Effects of Co/Sm composition on the ordered phase formation in Sm-Co thin films grown on Cu(111) single-crystal underlayers, IEEE Trans. Mag., 44 (2008) 2891-2894
- 13) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation and Structure Characterizations of SmCo₅(0001) Epitaxial Thin Films Grown on Cu(111) underlayer, J. Appl. Phys., 105 (2009) 07C315.

【平成21年度】

- 1) T. Yoshiura, S. Oshika, M. Futamoto, Influence of external magnetic field on the magnetization structure of perpendicular recording media, *J. Mag. Soc. Jpn.*, 33 (2009) 199–203.
- 2) Y. Nukaga, M. Ohtake, M. Futamoto, F. Kirino, N. Fujita, N. Inaba, Structure and Magnetic Properties of Co Epitaxial Thin Films grown on MgO single-crystal substrates, *IEEE Trans. Mag. (Proc. Asian Mag. Conf.)*, 45 (2009) 2519–2522.
- 3) T. Tanaka, M. Ohtake, M. Futamoto, F. Kirino, N. Inaba, Preparation and Characterizations of NiFe Epitaxial Thin Films Grown on MgO(100) and SrTiO₃(100) Single-Crystal Substrate, *IEEE Trans. Mag. (Proc. Asian Mag. Conf.)*, 45 (2009) 2515–2518.
- 4) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial Growth of SmCo₅(0001) Thin Films on Al₂O₃(0001) Single Crystal Substrate, *J. Cryst. Growth*, 311 (2009) 2251–2254.
- 5) K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Microstructure and magnetic properties of FeCo epitaxial thin films grown on MgO single-crystal substrates, *J. Appl. Phys.*, 105 (2009) 07C303.
- 6) T. Tanaka, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Micro structure of NiFe Epitaxial Thin Films Grown on MgO Single-Crystal Substrates, *IEEE Trans. Mag.*, 46, (2) 356–348 (Feb. 2010)
- 7) Y. Sato, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Structure and Magnetic Properties of CoNi Epitaxial Thin Films Grown on MgO(100) Single-Crystal Substrates, *IEEE Trans. Mag.*, 46 (2010) 349–352.
- 8) K. Takenaka, T. Sugimoto, N. Nishiyama, A. Makino, Y. Saotome, Y. Hirotsu, A. Inoue, Structure, Morphology and Magnetic Properties of Fe–B–Si–Nb Glassy Alloy Thin Film Prepared by a Pulsed Laser Deposition Method, *Mater. Lett.*, 63 (2009) 1895–1897.
- 9) O. Yabuhara, Y. Nukaga, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial Growth of Co Thin Films on SrTiO₃ Single-Crystal Substrate, *J. Mag. Soc. Jpn.*, 32 (2010) 78–91
- 10) T. Wada, X. Wang, H. Kimura, A. Inoue, Supercooled liquid foaming of Zr–Al–Cu–Ag bulk metallic glass containing pressurized helium pores, *Mater. Lett.*, 63 (2009) 858–860
- 11) H. Matsumoto, A. Urata, Y. Yamada, A. Makino, To enhance the efficiency of a power supply circuit by the use of Fe–P–B–Nb-type ultralow loss glassy metal core, *J. Appl. Phys.*, 105(7) (2009) 07A317.
- 12) C. Chang, T. Kubota, A. Makino, A. Inoue, Synthesis of ferromagnetic Fe-based bulk glassy alloys in the Fe–Si–B–P–C system, *J. Alloys Comp.*, 473 (2009) 368–372.
- 13) A. Takeuchi, K. Yubuta, A. Makino, A. Inoue, Evaluation of glass-forming ability of binary metallic glasses with liquidus temperature, crystallographic data from binary phase diagrams and molecular dynamics simulation, *J. Alloys Comp.*, 483 (2009) 102–106.

- 14) A. Makino, C. Chang, T. Kubota, A. Inoue, Soft magnetic Fe-Si-B-P-C bulk metallic glasses without any glass-forming metal elements, *J. Alloys Comp.*, 483 (2009) 616-619
- 15) A. Hirata, N. Kawahara, Y. Hirotsu, A. Makino, Local structure changes on annealing in an Fe-Si-B-P bulk metallic glass, *Local structure changes on annealing in an Fe-Si-B-P bulk metallic glass*
- 16) S. Lee, H. Kato, T. Kubota, A. Makino, A. Inoue, Fabrication and soft-magnetic properties of Fe-B-Nb-Y glassy powder compacts by spark plasma sintering technique, *Intermetallics*, 17 (2009) 218-221
- 17) J. B. Qiang, W. Zhang, A. Inoue, Ni-(Zr/Hf)-(Nb/Ta)-Al bulk metallic glasses with high thermal stabilities, *Intermetallics*, 17 (2009) 249-252
- 18) X. Li, A. Makino, K. Yubata, H. Kato, A. Inoue, Mechanical Properties of Soft Magnetic (Fe_{0.76}Si_{0.096}B_{0.084}P_{0.06})(100-x)Cu-x (x=0 and 0.1) Bulk Glassy Alloys, *Mater. Trans.*, 50 (2009) 1286-1289
- 19) M. Ohtake, K. Shikada, T. Nishiyama, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial Growth of bcc-Fe_xCo_{100-x} Thin Films on MgO(110) Single-Crystal Substrates, *J. Magn. Mag. Mater.*, 332 (2010) 1947-1951.
- 20) M. Ohtake, Y. Nukaga, Y. Sato, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial growth of fcc-Co_xNi_{100-x} thin film on MgO (110) single-crystal substrates, *J. Appl. Phys.*, 106 (2009) 123921.

【平成22年度】

- 1) N. Kaushik, P. Sharma, S. Nagar, K. V. Rao, H. Kimura, A. Makino, A. Inoue, Exchange-coupled FePtB nano-composite hard magnets produced by pulsed laser deposition, *Materials Science and Engineering B*, Vol. 171, 62 (2010).
- 2) N. Nishiyama, K. Takenaka, N. Saidoh, M. Futamoto, Y. Saotome, A. Inoue, Glassy Alloy Composites for Bit-Patterned Media, *J. Alloys Compo.*, 509S (2011) S145-S147
- 3) H. Miura, N. Nishiyama, A. Inoue, Non-Equilibrium Copper Based Crystalline Alloy Sheet Having Ultrahigh Strength and Good Electrical Conductivity, *J. Alloys Compo.*, 509S (2011) S361-S363
- 4) Y. Nukaga, M. Ohtake, O. Yabuhara, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial Growth of Co Thin Films on MgO Single-Crystal Substrates, *J. Mag. Soc. Jpn.*, 34 (2010) 508-523
- 5) K. Takenaka, N. Togashi, N. Nishiyama, A. Inoue, Structure, mechanical properties and imprint-ability of Pd-Cu-Ni-P glassy alloy thin film prepared by a pulsed-laser deposition method, *J. Non-Cryst. Solids*, 356 (2010) 1542-1545.
- 6) M. Ohtake, O. Yabuhara, Yuri Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial growth of SmNi₅ ordered alloy thin films on Cu(111) underlayers, *Proc. 21st workshop on Rare-earth permanent mag. and their appl.*, (2010) 313-316.
- 7) O. Yabuhara, M. Ohtake, Yuri Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Growth and characterization of SmCo₂ and SmFe₅ ordered alloy thin films, *Proc. 21st workshop*

- on Rare-earth permanent mag. and their appl., (2010) 145-148.
- 8) 長野克政, 佐々木翔太, 二本正昭, 垂直磁気記録媒体の記録磁化安定性に及ぼすスクラッチの影響, 日本磁気学会誌, 134 (2010) 185-190.
- 9) 大竹充, 田中隆浩, 桐野文良, 二本正昭, エピタキシャルhcp-Ni 薄膜の構造と磁気特性, 日本磁気学会誌, 134 (2010) 267-276.
- 10) T. Nishiyama, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation and structural characterization of FeCo epitaxial thin films on insulating single-crystal substrates, J. Appl. Phys., 107 (2010) 09A306.
- 11) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Effects of substrate temperature and Cu underlayer thickness on the formation of SmCo₅(0001) epitaxial thin films, J. Appl. Phys., 107 (2010) 09A706.
- 12) Ohtake, M. Yabuhara, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation of SmNi₅ and Sm(Ni, T)₅[T=Co, Fe] ordered alloy thin films on Cu(111) underlayers, J. Appl. Phys., 107 (2010) 09A708.
- 13) M. Ohtake, T. Tanaka, F. Kirino, M. Futamoto, Structural characterization of metastable hcp-Ni thin films epitaxially grown on Au(100) single-crystal underlayers, J. Appl. Phys., 107 (2010) 09E310.
- 14) T. Nishiyama, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Effects of fcc metal underlayer and substrate temperature on the formation of Ni(111) epitaxial thin films, IEEE Trans. Mag., 46 (2010) 1491-1494.
- 15) T. Tanaka, M. Ohtake, F. Kirino, and M. Futamoto, Preparation of hcp-NiFe(112-0) thin films on Au(100) underlayers, IEEE Trans. Mag., 46 (2010) 1947-1950.
- 16) 大鹿信太郎, 吉村大路, 二本正昭, 温度および磁界が垂直磁気記録媒体の記録磁化状態に及ぼす影響, 電子情報通信学会論文誌, J93-C(2010) 319-325.
- 17) K. Takenaka, N. Nishiyama, N. Togashi, A. Inoue, Thermal stability, mechanical properties and nano-imprint ability of Pd-Cu-Ni-P glassy alloy thin film, Intermetallics, 18 (2010) 1969-1972.
- 18) N. Nishiyama, K. Takenaka, N. Togashi, H. Miura, N. Saido, A. Inoue, Glassy Alloy Composites for Information Technology application, Intermetallics, 18 (2010) 1983-1987.
- 19) H. Miura, N. Nishiyama, N. Togashi, M. Nishida, A. Inoue, Structure, conductivity and mechanical properties of non-equilibrium copper-based crystalline alloy nano-composites, Intermetallics, 18 (2010) 1960-1963.
- 20) N. Kaushik, P. Sharma, K. Yubuta, A. Makino, A. Inoue, Domain wall assisted magnetization switching in (111) oriented L10 FePt grown on a soft magnetic metallic glass, Applied Physics Letters, Vol. 97, 072510 (2010).
- 21) 吉村大路, 大鹿信太郎, 二本正昭, 磁気力顕微鏡法による垂直磁気記録媒体のビットシフト解析, J. Mag. Soc. Jpn., 35 (2011) 1-6

- 22) M. Ohtake, O. Yabuhara, J. Higuchi, M. Futamoto, Microstructure and magnetic properties of bcc-Co films epitaxially grown on GaAs(110) singlecrystal substrates, Appl. Phys. Express, 4 (2011) 013006
- 23) Y. Nukaga, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Microstructure of Co(11-20) Epitaxial Thin Film Grown on MgO(100) Single-Crystal Substrate, J. Phys. Conf. Series 200 (2010) 072071
- 24) M. Ohtake, T. Tanaka, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation of hcp-Ni(112-0) Epitaxial Thin Films on Au(100) Single-Crystal Underlayers, J. Phys. Conf. Series 200 (2010) 072072.
- 25) O. Yabuhara, M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Formation of SmFe₅(0001) Ordered Alloy Thin Films on Cu(111) Single-Crystal Underlayers, J. Phys. Conf. Series 200 (2010) 082026
- 26) K. Nagano, S. Sasaki, M. Futamoto, Influence of Mechanical Scratch on the Recorded Magnetization Stability of Perpendicular Recording Media, J. Phys. Conf. Series 200 (2010) 102006
- 27) K. Takenaka, N. Saidoh, N. Nishiyama, and A. Inoue, Fabrication and nano-imprintabilities of Zr, Pd-and Cu-based glassy alloy thin films, Nanotechnology 2011.2.2 Online at stacks.jop.org/Nano/22/105302
- 28) A. Inoue, A. Takeuchi, Recent Development and Application Products of Bulk Glassy Alloys, Acta Materialia, 59(6), (2011), 2243-2267

【平成23年度】

- 1) P. Sharma, N. Kaushik, A. Makino, A. Inoue, Anomalous temperature dependence of coercivity at low temperature in L₁₀FePt thin films, IEEE Trans. Mag., 47 (2011) 4394-4397.
- 2.) M. Ohtake, Y. Sato, J. Higuchi, T. Tanaka, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial growth of metastable hcp-Ni and hcp-NiFe thinfilms on Au(100) single-crystal underlayer and their structural characterization, Jpn. J. Appl. Phys., 50 (2011) 103001.
- 3) O. Yabuhara, M. Ohtake, Y. Nukaga, M. Futamoto, Structure analysis of Co epitaxial thin film grown on Al₂O₃ single-crystal substrates, J. Mag. Soc. Jpn., 35 (2011) 443-0448.
- 4) P. Sharma, N. Kaushik, A. Makino, M. Esashi, A. Inoue, L₁₀FePt(111)/glassy CoFeTaB bilayered structure for patterned media, J. Appl. Phys., 109 (2011) 07B908.
- 5) M. Ohtake, Y. Sato, J. Higuchi, M. Futamoto, Microstructure of hcp-Ni(1100)/bcc-Cr(211) Bi-layer Film Grown on MgO(110) Substrate, Journal of Physics: Conference Series, 266 (2011) 012122.
- 6) O. Yabuhara, M. Ohtake, Y. Nukaga, M. Futamoto, Preparation and Characterization of Co Epitaxial Thin Films on Al₂O₃(0001) Single-Crystal Substrates, Journal of Physics Conference Series, 266 (2011) 012149.

- 7) K. Nagano, K. Tobaril, M. Futamoto, Influence of Magnetic Field and Mechanical Scratch on the Recorded Magnetization Stability of Longitudinal and Perpendicular Recording Media, *Physics Procedia*, 16 (2011) 53–57.
- 8) J. Higuchi, M. Ohtake, Y. Sato, T. Nishiyama, M. Futamoto, Preparation of hcp-Ni Thin Films on Ru Underlayers Hetero-Epitaxially Grown on Single-Crystal Substrates, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 50 (2011) 063001
- 9) K. Tobaril, M. Ohtake, K. Nagano, F. Kirino, M. Futamoto, Influence of layer thickness on the structure and the magnetic properties of Co/Pd epitaxial multilayer films, *J. Mag. Mater.* 324 (2012) 1059–1062
- 10) M. Ohtake, O. Yabuhara, J. Higuchi, M. Futamoto, Preparation and characterization of Co single-crystal thin films with hcp, fcc, and bcc structures, *J. Appl. Phys.*, 109 (2011) 07C105
- 11) M. Ohtake, O. Yabuhara, K. Tobaril, F. Kirino, M. Futamoto, Structure and magnetic properties of FePd-alloy epitaxial thin films grown on MgO single-crystal substrates with different orientations, *J. Appl. Phys.*, 109 (2011) 078757
- 12) K. Nagano, K. Tobaril, M. Futamoto, Influence of Temperature and Mechanical Scratch on the Recorded Magnetization Stability of Longitudinal and Perpendicular Recording Media, *Journal of Physics: Conference Series*, 303 (2011) 012047
- 13) M. Ohtake, O. Yabuhara, Y. Nukaga, M. Futamoto, Preparation of Co(0001)hcp and (111)fcc Films on Single-Crystal Oxide Substrates, *Journal of Physics: Conference Series*, 303 (2011) 012016
- 14) J. Higuchi, M. Ohtake, Y. Sato, M. Futamoto, Preparation of hcp-Ni Epitaxial Films on Cr Underlayers, *Journal of Physics: Conference Series*, 303 (2011) 012094
- 15) K. Nagano, K. Tobaril, M. Ohtake, M. Futamoto, Effect of Magnetic Film Thickness on the Spatial Resolution of Magnetic Force Microscope Tips, *Journal of Physics: Conference Series*, 303 (2011) 012014
- 16) M. Ohtake, T. Tanaka, K. Matsubara, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial Growth of Permalloy Thin Films on MgO Single-Crystal Substrates, *Journal of Physics: Conference Series*, 303 (2011) 012015
- 17) K. Matsubara, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Microstructure and Magnetic Properties of Fe and Fe-alloy Thin Films Epitaxially Grown on MgO(100) Substrates, *Journal of Physics: Conference Series*, 303 (2011) 012093
- 18) K. Matsubara, M. Ohtake, K. Tobaril, M. Futamoto, Structure and magnetic properties of Fe epitaxial thin films prepared by UHV rf magnetron sputtering on GaAs single-crystal substrates, *Thin Solid Films*, 519 (2011) 8299–8302
- 19) O. Yabuhara, M. Ohtake, K. Tobaril, T. Nishiyama, F. Kirino, M. Futamoto, Structural and magnetic properties of FePd and CoPd alloy epitaxial thin films grown on MgO single-crystal substrates with different orientations, *Thin Solid Films*, 519 (2011)

8359-8362

20) J. Higuchi, M. Ohtake, Y. Sato, F. Kirino, M. Futamoto, NiFe epitaxial films with hcp and fcc structures prepared on bcc-Cr underlayers, *Thin Solid Films*, 519 (2011) 8347-8350

21) M. Ohtake, J. Higuchi, O. Yabuhara, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation of metastable bcc permalloy epitaxial thin films on GaAs(011)B3 single-crystal substrates, *Thin Solid Films*, 519 (2011) 8367-8370

22) K. Tobarī, M. Ohtake, K. Nagano, M. Futamoto, Structure characterization of Pd/Co/Pd tri-layer films epitaxially grown on MgO single-crystal substrates, *Thin Solid Films*, 519 (2011) 8384-8387.

23) K. Tobarī, M. Ohtake, K. Nagano, M. Futamoto, Preparation and Characterization of Co/Pd Epitaxial Multilayer Films with Different Orientations, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 50 (2011) 073001

24) J. W. Lee, Y. C. Lin, N. Kaushik, P. Sharma, A. Makino, A. Inoue, M. Esashi, T. Gessner, Micromirror with large-tilting angle using Fe-based metallic glass, *OPTICS LETT.*, 36 (2011) 3464. 3466

25) Yaocen Wang, Parmanand Sharma and Akihiro Makino, Magnetization reversal in a preferred oriented (111) L10 FePt grown on a soft magnetic metallic glass for tilted magnetic recording, *Journal of Physics: Condensed Matter* Vol. 24, 076004 (2012).

26) M. Ohtake, Y. Nonaka, M. Futamoto, Metastable bcc Ni single-crystal films prepared on GaAs single-crystal substrates of different orientation, *IEEE Trans. Mag.*, Volume: 48, Issue: 4 On Page(s): 1589 - 1592

27) M. Ohtake, K. Soneta, M. Futamoto, Influence of magnetic material composition of Fe_{100-x}B_x coated tip on the spatial resolution of magnetic force microscopy, *J. Appl. Phys.*, 111 (2012) -07E339

28) M. Ohtake, K. Soneta, M. Futamoto, L10 ordered phase formation in FePt, FePd, CoPt and CoPd alloy thin films epitaxially grown on MgO(001) single-crystal substrates, *J. Appl. Phys.*, 111 (2012) -07A708

29) K. Takenaka, N. Saidoh, N. Nishiyama, M. Ishimaru, A. Inoue, Read/write characteristics of a new type of bit-patterned-media using nano-patterned glassy alloy, *J. Magnetism Mag. Mater.*, 324 (2012) 1444-1448

30) N. Nishiyama, K. Takenaka, H. Miura, N. Saidoh, Y. Q. Zeng, A. Inoue, The world's biggest bulk glassy alloy ever made, *Intermetallics*, published online 24 April, 2012

31) K. Takenaka, N. Saidoh, N. Nishiyama, M. Ishimaru, A. Inoue, Novel soft-magnetic underlayer of a bit patterned media using CoFe-based amorphous alloy thin film, *Intermetallics*, published online 24 April, 2012

32) N. Saidoh, K. Takenaka, N. Nishiyama, M. Ishimaru, A. Inoue, Surface and cross sectional nano-structure of prototype BPM prepared using imprinted glassy alloy thin

film, Intermetallics, published online 24 April, 2012

33) M. Ohtake, S. Ouchi, F. Kirino and M. Futamoto, Structure and magnetic properties of CoPt, CoPd, FePt, and FePd alloy thin films formed on MgO(111) substrates, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS

34) M. Ohtake, K. Kobayashi, F. Kirino, M. Futamoto, Influence of fcc Underlayer Facet on Microstructure of Co Thin Film, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS

4 国際会議等発表リスト

【平成19年度】

1) A. Makino, K. Kubita, A. Makabe, C. T. Chnag, A. Inoue, FeSiBP metallic glasses with high glass-forming ability and excellent magnetic properties, ISMANAM 2007 (Aug. 26-30, Corfu, Greece).

2) N. Nishiyama, N. Togashi, H. Kato, Y. Saotome, A. Inoue, Utilization of metallic glasse for applicatiions of micro-forming to nano-imprinting by their viscous flow behavior, ISMANAM 2007 (Aug. 26-30, Corfu, Greece).

3) N. Togashi, N. Nishiya, M. Ishida, H. Takeda, Y. Shimizu, Y. Saotome, A. Inoue, Wear resistivity of metallic glasses under lubrication, ISMANAM 2007 (Aug. 26-30, Corfu, Greece).

4) Y. Saotome, H. Hayasaka, K. Arai, H. Kimura, A. Inoue, Superplastic microforming of Zr-based metallic glass at high strain rate unde rapid heating, ISMANAM 2007 (Aug. 26-30, Corfu, Greece).

5) A. Makino, K. Kubota, H. Men, K. Yubuta, A. Inoue, Fe-based hetero-amorphous alloy with high Fe content exceeding the limit for the formation of a single amorphous phase, ANMM2007 (Aug. 29-31 Iasi, Rumania).

6) A. Makino, K. Kubota, M. Makabe, A. Inoue, Fe-based metallic glasses with high magnetization and excellent magnetic softness, SMM18 (Sep. 2-5, Cardiff, UK).

7) Y. Saotome, K. Amiya, A. Urata, A. Makino, N. Nishiyama, W. Yamaguchi, E. Makabe, H. Kimura, A. Inoue, Fabrication of metallic nanostructures by nanoimprint of metallic glasses for patterned media, NNT' 07 (Oct. 10-12, Paris, France).

8) Y. Yasui, K. Shimomai, M. Futamoto, Temperature and magnetic field effect on the magnetization structure of high-density magnetic recording media, PMRC-2007 (Oct. 15-17, Tokyo, Japan).

9) M. Ohtake, K. Shikada, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial growth of Co(00001)hcp /Fe(110)bcc magnetic bi-layer films on SrTiO₂(111) substrates, PMRC-2007 (Oct. 15-17, Tokyo, Japan).

10) M. Ohtake, M. Futamoto, F. Kirino, N. Fujita, N. Inaba, Epitaxial growth of hcp /fcc Co bi-layer films on Al₂O₃(0001) substrates, 2007 MMM Conf. (Nov. 5-9, Tampa, USA).

11) Y. Saotome, A. Inoue, Nanoimprint of metallic glasses for optical applications

and patterned media, 2007 MRS fall meeting (Nov. 26–30, Boston, USA).

12) N. Togashi, Y. Saotome, N. Nishiyama, A. Inoue, Wear resistance of Ni-based metallic glasses. BMG-Europe 2007 (Dec. 2–4, Paris, France).

13) N. Nishiyama, "Industrialization of bulk metallic glasses, at present and future prospect", BMG-Europe 2007 (Dec. 2–4, Paris, France).

14) T. Wada, A. Inoue, Preparation and mechanical properties of Pd-based porous bulk glassy alloys, 2nd Int. Sympo. Nano and Amorphous Mater. (Dec. 12–13, Incheon, Korea).

15) H. Kato, H. S. Chen, A. Inoue, Implication of the thermal expansion coefficient on T_g in metallic glass, 2nd Int. Sympo. Nano and Amorphous Mater. (Dec. 12–13, Incheon, Korea).

16) N. Nishiyama, N. Togashi, Y. Saotome, A. Inoue, Novel applications of metallic glasses composites using their functional properties, 2008 TMS Annual Meeting & Exhibition (Mar. 9–13, New Orleans, USA).

17) N. Togashi, Y. Saotome, N. Nishiyama, A. Inoue, Sliding wear resistance of the Ni-based metallic glass, 2008 TMS Annual Meeting & Exhibition (Mar. 9–13, New Orleans, USA).

【平成20年度】

1) Y. Nukaga, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Effects of Sm/Co composition on the ordered phase formation in Sm-Co films grown on Cu(111) single-crystal underlayers, 2008 Intermag Conference (May 4–8, Madrid, Spain).

2) X. Li, C. Chang, C. Qin, A. Makino, A. Inoue, Effect of Cr addition on the properties of $(\text{Fe}_{0.76}\text{P}_{0.048}\text{B}_{0.096}\text{Si}_{0.096})_{100-x}\text{Cr}_x$ ($x=0\sim 6$ at %) bulk metallic glasses: the glass-forming ability, magnetic, mechanical and corrosion properties, BMGVI (May 11–15, Xian, China).

3) C. T. Chang, T. Kubota, A. Makino, A. Inoue, Effect of Nb addition on glass-forming in FeBSiP bulk glassy alloys with super-high strength and good soft-magnetic properties, BMGVI (May 11–15, Xian, China).

4) S. Lee, H. Kato, T. Kubota, A. Makino, A. Inoue, Fabrication and soft-magnetic properties of Fe-B-Nb-Y gas-atomized powder compacts by spark plasma sintering technique, BMGVI (May 11–15, Xian, China).

5) Y. Hirotsu, A. Hirata, Medium Range Order Structures in Fe-based Metallic Glasses Studied by Nano-Beam Electron Diffraction and HREM, BMGVI (May 11–15, Xian, China).

6) T. Kubota, C. Chang, A. Makino, A. Inoue, Magnetic Properties of FeSiBP Bulk Ring with High Glass-forming Ability, BMGVI (May 11–15, Xian, China).

7) Y. Nukaga, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Structure and magnetic properties of Co/X (X = Ag, Au, Cu) Bi-layer Films Grown on MgO(110) Single-Crystal Substrates, Joint Int. Conf., Mater. for Electrical Eng. (Jun 16–18, Bucharest, Rumania).

8) K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial Growth of FeCo Thin Films

on MgO Single-Crystal Substrates, Joint Int. Conf., Mater. for Electrical Eng. (Jun 16-18, Bucharest, Rumania).

9) H. Kato, H. S. Chen, A. Inoue, Correlation between thermal expansion coefficient and T_g of metallic glasses, RQ13 (Aug. 24-29, Dresden, Germany).

10) M. Shibata, K. Amiya, Y. Saotome, A. Makino, N. Nishiyama, A. Inoue, Nano-imprintability of Fe-based glassy alloy, RQ13 (Aug. 24-29, Dresden, Germany).

11) N. Togashi, K. Yamamoto, Y. Shinpo, Y. Saotome, N. Nishiyama, A. Inoue, Mechanical and Electrical properties of the Glassy Alloy Composites, RQ13 (Aug. 24-29, Dresden, Germany).

12) K. Takenaka, T. Sugimoto, N. Nishiyama, A. Makino, A. Inoue, Structure and Soft Magnetic Properties of Fe-based Glassy Alloy Thin Film, RQ13 (Aug. 24-29, Dresden, Germany).

13) N. Nishiyama, N. Togashi, K. Takenaka, Y. Saotome, A. Inoue, Advantages of Glassy Alloy Composites for Industrial Applications, RQ13 (Aug. 24-29, Dresden, Germany).

14) T. Myo, T. Kubota, A. Makino, A. Inoue, Annealing Effect on Soft Magnetic Properties of Fe₇₆Si₉B₁₀P₅ Glassy Alloys, IUMRS-ICA 2008 (Dec. 9-13, Nagoya, Japan).

15) N. Nishiyama, N. Togashi, K. Takenaka, Y. Saotome, A. Inoue, Novel Applications of Glassy Alloy Composites, IUMRS-ICA 2008 (Dec. 9-13, Nagoya, Japan).

16) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation and Structure Characterizations of SmCo₅(0001) Epitaxial Thin Films Grown on Cu (100) underlayer, MMM-2008 (Austin, USA)

17) T. Tanaka, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Structure and magnetic properties of Ni and NiFe thin films epitaxially grown on MgO(100) single-crystal substrate, MMM-2008 (Austin, USA)

18) K. Shikada, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Microstructure and magnetic properties of FeCo epitaxial thin films grown on MgO single-crystal substrates, MMM-2008 (Austin, USA)

【平成21年度】

1) M. Ohtake, K. Shikada, T. Nishiyama, F. Kirino and M. Futamoto, Epitaxial of Fe_xCo_{1-x} thin films on MgO(110) single-crystal substrates, INTERMAG 2009 (May 4-8, Sacramento, USA).

2) A. Inoue, Development of bulk metallic glasses with good dynamic mechanical properties and their application, IWMG09 (Jun. 17-19, Barcelona, Spain).

3) A. Inoue, Development and applications of bulk metallic glasses, ICMAT2009 (Jun. 28- Jul. 3, Singapore).

4) A. Inoue, Development and applications of Fe-based bulk glassy alloys, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).

5) W. Zhang, H. Guo, M. W. Chen, Y. Saotome, C. L. Qin, A. Inoue, Synthesis and

- properties of new Au-based bulk glassy alloys, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 6) X. Li, H. Kato, K. Yubuta, A. Makino, A. Inoue, Effect of Cu on nanocrystallization and plastic properties of FeSiBPCu bulk metallic glasses, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 7) Y. Saotome, N. Togashi, J. Hatcho, M. Ishida, H. Takeda, N. Nishiyama, A. Inoue, Development of Palmtop Wear Testing Machine and Wear Resistance of Ni-based Metallic Glass, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 8) Q. K. Man, H. J. Sun, Y. Q. Dong, B. L. Shen, H. Kimura, A. Makino, A. Inoue, Enhancement of glass-forming ability of CoFeBSiNb bulk glassy alloy with good soft-magnetic properties, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 9) C. T Chang, T. Kubota, A. Makino, A. Inoue, Effects of Nb addition on glass-forming ability, magnetic and corrosion properties in FeBSiP alloy system with super-high strength, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 10) H. J. Sun, Q. Man, Y. Q. Dong, B. L. Shen, H. Kimura, A. Makino, A. Inoue, Effect of Nb addition on the glass-forming ability, mechanical and soft-magnetic properties in CoFeBSiNb bulk glassy alloys, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 11) H. L. Su, F. L. Kong, A. D. Wang, B. L. Shen, H. Kimura, A. Makino, A. Inoue, FeSiBPCu amorphous and nanocrystalline alloy with high saturation magnetization, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 12) B. L. Shen, H. Kimura, A. Makino, A. Inoue, CoFe-based bulk glassy alloys with high glass-forming ability and excellent soft-magnetic properties, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 13) A. Makino, Effect of Cu on nanocrystallization and plastic properties of FeSiBPCu bulk metallic glasses, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 14) A. Makino, T. Kubota, S. Susa, H. Men, K. Yubuta, L. Y. Cui, M. Qi, A. Inoue, New FeSiBPCu nanocrystalline soft magnetic alloys with low core losses and high B_s of 1.9 T equivalent to silicon steel, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 15) Y. Saotome, A. Inoue, Metallic Glasses as Micro/Nano-Materials for MEMS/NEMS, ISMANAM2009 (Jul. 5-9, Beijing, China).
- 16) M. Ohtake, T. Tanaka, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation of hcp-Ni(11-20) Epitaxial Thin Films on Au(100) Single-Crystal Underlayers, "Int. Conf. on Mag., ICM 2009 (Jul. 26-31, Karlsruhe, Germany).
- 17) O. Yabuhara, M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Formation of SmFe₅(0001) Ordered Alloy Thin Films on Cu(111) Single-Crystal Underlayers, "Int. Conf. on Mag., ICM 2009 (Jul. 26-31, Karlsruhe, Germany).
- 18) Y. Nukaga, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Microstructure of Co(11-20) Epitaxial Thin Film Grown on MgO(100) Single-Crystal Substrate, "Int. Conf. on Mag., ICM 2009 (Jul. 26-31, Karlsruhe, Germany).

- 19) M. Ohtake, O. Yabuhara, F. Kirino, M. Futamoto, Effect of Fe/Au Composition on the L1₂ Ordered Phase Formation in Fe–Au Films Grown on MgO(001) Single-Crystal Substrates, Int. Conf. on Mag., ICM 2009 (Jul. 26–31, Karlsruhe, Germany).
- 20) K. Nagano, S. Sasaki, M. Futamoto, Influence of Mechanical Scratch on the Recorded Magnetization Stability of Perpendicular Recording Media, Int. Conf. on Mag., ICM 2009 (Jul. 26–31, Karlsruhe, Germany).
- 21) Y. Saotome, J. Hacho, M. Ishida, H. Takeda, N. Nishiyama, A. Inoue, Fatigue Behavior Of Ni–Nb–Ti–Zr–Co–Cu Metallic Glass, TERMEC 2009 (Aug. 25–29, Berlin, Germany).
- 22) M. Ohtake, Y. Nukaga, Y. Sato, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial growth of fcc–Co_xNi_{100–x} thin films on MgO(110) single-crystal substrates, 19th Soft Mag. Mater. Conf. (Sep. 6–9, Trino, Italy).
- 23) T. Tanaka, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Micro Structure of NiFe Epitaxial Thin Films Grown on MgO Single-Crystal Substrates, 19th Soft Mag. Mater. Conf. (Sep. 6–9, Trino, Italy).
- 24) Y. Sato, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Structure and Magnetic Properties of CoNi Epitaxial Thin Films Grown on MgO(100) Single-Crystal Substrates, 19th Soft Mag. Mater. Conf. (Sep. 6–9, Trino, Italy).
- 25) N. Nishiyama, K. Takenaka, N. Togashi, N. Saidoh, A. Inoue, Glassy alloy composites for IT applications, ICAM 2009 (Sep. 18–22, Rio de Janeiro, Brazil). 26) N. Nishiyama, H. Miura, M. Nishida, H. Kimura, A. Inoue, Cu-based crystalline alloys with high strength and good electrical conductivity designed by glass-forming rules, ICAM 2009 (Sep. 18–22, Rio de Janeiro, Brazil).
- 27) H. Miura, N. Nishiyama, N. Togashi, M. Nishida, A. Inoue, Structure, Conductivity and Mechanical Properties of Non-Equilibrium Copper-Based Crystalline Alloy Nano-Composites, BMGVII (Nov. 1–5, Busan, Korea).
- 28) K. Takenaka, N. Togashi, N. Nishiyama, A. Inoue, Structure mechanical properties and nano-imprintability of Pd–Cu–Ni–P glassy alloy thin film prepared by a pulsed laser deposition method, BMGVII (Nov. 1–5, Busan, Korea).
- 29) N. Togashi, Y. Saotome, Y. Shimizu, N. Nishiyama, A. Inoue, Wear Behavior of the Metallic Glass in Sliding and Rolling Contact, BMGVII (Nov. 1–5, Busan, Korea).
- 30) N. Nishiyama, K. Takenaka, N. Togashi, H. Miura, N. Saido, A. Inoue, Glassy Alloy Composites for Information Technology application, BMGVII (Nov. 1–5, Busan, Korea).
- 31) B. W. Zhou, W. Zhang, X. G. Zhang, H. Kimura, A. Makino, A. Inoue, Formation and mechanical properties of Cu-based Cu–Zr–Al glassy alloys with high glassforming ability, BMGVII (Nov. 1–5, Busan, Korea).
- 32) S. Lee, A. Makino, A. Inoue, P. A. Tuan, H. Kuwano, Metallic glass thin films of Fe–B–Nb–Lanthanoids, BMGVII (Nov. 1–5, Busan, Korea).
- 33) M. Ohtake, Y. Yabuhara, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation of SmNi₅

and Sm(Ni, T)₅ (T=Co, Fe) ordered alloy thin films on Cu(111) under layers, MMM-INTERMAG (Jan. 18-22, Washington, USA).

34) M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Effects of substrate temperature and Cu underlayer thickness on the formation of SmCo₅(0001) epitaxial thin films, MMM-INTERMAG (Jan. 18-22, Washington, USA).

35) T. Nishiyama, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Effects of fcc noble metal underlayer and substrate temperature on the formation of Ni(111) epitaxial thin film, MMM-INTERMAG (Jan. 18-22, Washington, USA).

36) T. Tanaka, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation of hcp-NiFe(11-20) thin films on Au(100) underlayers, MMM-INTERMAG (Jan. 18-22, Washington, USA).

37) S. C. Kim, S. I. Yamaura, A. Makino, A. Inoue, Corrosion behaviors of the Ni-based glassy alloys as bipolar plate for PEM fuel cells, ISMANAM2009 (Beijin)

38) S. C. Kim, S. Yamaura, A. Makino, A. Inoue, Development of Ni-based glassy alloys as bipolar plate for PEM fuel cells, BMGVII (Busan)

【平成22年度】

1) K. Nagano, K. Tobari, M. Futamoto, Influence of Magnetic Field and Mechanical Scratch on the Recorded Magnetization Stability of Longitudinal and Perpendicular Recording Media, PMRC 2010 (May 17-19, Sendai, Japan).

2) M. Ohtake, Y. Sato, O. Yabuhara, Y. Nukaga, M. Futamoto, Influence of fcc-Ag Underlayer Facets on the Microstructure of Co Thin Films, PMRC 2010 (May 17-19, Sendai, Japan).

3) K. Tobari, M. Ohtake, K. Nagano, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial Growth and Characterization of Co/Pd Multilayer Films on MgO Single-Crystal Substrates with Different Orientations, PMRC 2010 (May 17-19, Sendai, Japan).

4) Y. Fukuda, Y. Saotome, A. Inoue, Nanoimprint of Pt-based Metallic Glass with dies of Periodic Structure of 25nm in Pitch Fabricated by FIB-CVD & RIE, ASNIL2010 (Jun. 30-Jul. 2, Tsukuba, Japan).

5) A. Inoue, Recent Development of Zr- and Ti-based Bulk Glassy Alloys With and Without Ni Element, ISMANAM2010 (Jul. 4-9, Zurich, Switzerland).

6) H. Miura, N. Nishiyama, A. Inoue, Structure, Mechanical Properties and Conductivity of Cu-based Non-equilibrium Alloy Designed Glass-forming Rules, ISMANAM2010 (Jul. 4-9, Zurich, Switzerland).

7) N. Nishiyama, K. Takenaka, N. Saidoh, M. Futamoto, Y. Saotome, A. Inoue, Glassy alloy composites for bit-patterned-media, ISMANAM2010 (Jul. 4-9, Zurich, Switzerland).

8) P. Sharma, N. Kaushik, K. Yubata, A. Makino, A. Inoue, Application of metallic glass thin films in development of patterned recording media, ISMANAM2010 (Jul. 4-9, Zurich, Switzerland).

- 9) Y. Sato, M. Ohtake, J. Higuchi, T. Tanaka, F. Kirino, M. Futamoto, Structural Analysis of hcp-Ni and hcp-NiFe Thin Films Epitaxially Grown on Au(100) Single-Crystals, ISAMMA. 2010 (Jul. 12-16, Sendai, Japan).
- 10) J. Higuchi, M. Ohtake, Y. Sato, T. Nishiyama, M. Futamoto, Preparation of hcp-Ni Thin Films on Ru Underlayers Hetero-epitaxially Grown on Single-Crystal Substrates, ISAMMA. 2010 (Jul. 12-16, Sendai, Japan).
- 11) O. Yabuhara, M. Ohtake, Y. Nukaga, Masaaki Futamoto, Preparation and Characterization of Co Epitaxial Thin Films on Al₂O₃(0001) Single-Crystal Substrates, ISAMMA. 2010 (Jul. 12-16, Sendai, Japan).
- 12) M. Ohtake, Y. Sato, J. Higuchi and M. Futamoto, Microstructure of hcp-Ni(1100)/bcc-Cr(211) bi-layer film grown on MgO(110) substrate, ISAMMA 2010 (July 12-16, Sendai, Japan).
- 13) K. Nagano, K. Tobar, and M. Futamoto, Influence of temperature and mechanical scratch on the recorded magnetization stability of longitudinal and perpendicular recording media, JEMS 2010 (Aug. 23-28, Krakow, Poland).
- 14) O. Yabuhara, M. Ohtake, Y. Nukaga and M. Futamoto, Preparation of Co(0001)hcp and (111)fcc films on single-crystal oxide substrates, JEMS 2010 (Aug. 23-28, Krakow, Poland).
- 15) K. Matsubara, M. Ohtake, F. Kirino, M. Futamoto, Microstructure and magnetic properties of Fe and Fe-alloy thin films epitaxially grown on MgO(100) substrates, JEMS 2010 (Aug. 23-28, Krakow, Poland).
- 16) M. Ohtake, T. Tanaka, F. Kirino and M. Futamoto, Epitaxial growth of permalloy thin films on MgO single-crystal substrates, JEMS 2010 (Aug. 23-28, Krakow, Poland).
- 17) K. Nagano, K. Tobar, M. Ohtake and M. Futamoto, Effects of magnetic film thickness and tip radius on the spatial resolution of magnetic force microscopy, JEMS 2010 (Aug. 23-28, Krakow, Poland).
- 18) Y. Sato, M Ohtake, J. Higuchi, T. Nishiyama and M. Futamoto, Preparation of hcp-Ni epitaxial thin films on Cr underlayers, JEMS 2010 (Aug. 23-28, Krakow, Poland).
- 19) O. Yabuhara, M. Ohtake, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Growth and characterization of Sm(Co_xFe_{100-x})₅ ordered alloy thin film, REPM '10 (Aug. 29- Sep. 2, Bled, Slovenia).
- 20) M. Ohtake, O. Yabuhara, Y. Nukaga, F. Kirino, M. Futamoto, Epitaxial growth and SmNi₅ ordered alloy thin films on Cu(111) underlayers, REPM '10 (Aug. 29- Sep. 2, Bled, Slovenia).
- 21) Y. Saotome, The state art of micro forming, AWMFT 2010 (Oct. 25-27, Sapporo, Japan).

- 22) K. Amiya, Y. Saotome, N. Nishiyama, A. Urata, A. Inoue, Nano-imprint of Fe-based metallic glass as a magnetic material, AWMFT 2010 (Oct. 25-27, Sapporo, Japan).
- 23) P. Sharma, N. Kaushik, A. Makino, M. Esashi, A. Inoue, LIo FePt(111)/glassy CoFeTaB bilayered structure for patterned media, MMM 2010 (Nov. 14-18, Atlanta, USA).
- 24) M. Ohtake, O. Yabuhara, J. Higuchi, M. Futamoto, Microstructure and magnetic properties of bcc-Co films epitaxially grown on GaAs(110) singlecrystal substrates, MMM 2010 (Nov. 14-18, Atlanta, USA).
- 25) O. Yabuhara, M. Ohtake, J. Higuchi, M. Futamoto, Preparation and characterization of Co single-crystal thin films with hcp, fcc, and bcc structures, MMM 2010 (Nov. 14-18, Atlanta, USA).
- 26) K. Tobar, M. Ohtake, K. Nagano, F. Kirino, M. Futamoto, Influence of Film Orientation and Layer Thickness on the Microstructure and the Magnetic Properties of Co/Pd Epitaxial Multilayer Films, MMM 2010 (Nov. 14-18, Atlanta, USA).
- 27) O. Yabuhara, M. Ohtake, K. Tobar, F. Kirino, M. Futamoto, Structure and magnetic properties of FePd-alloy epitaxial thin films grown on MgO single-crystal substrates with different orientations, MMM 2010 (Nov. 14-18, Atlanta, USA).
- 28) Y. Saotome, Fabrication of machine parts of metallic glasses, 2010 MRS fall meeting (Nov. 29-Dec. 3, Boston, USA).
- 29) S. Miyakawa, M. Nishida, N. Nishiyama, H. Miura, A. Inoue, Mechanical and electrical properties of rapidly solidified Cu-Zr-Ag alloy fabricated by powder rolling process, 2010 MRS fall meeting (Nov. 29-Dec. 3, Boston, USA).
- 30) N. Nishiyama, K. Takenaka, H. Miura, N. Saidoh, A. Inoue, Glassy Alloy Composites for Information Technology Applications, 2010 MRS fall meeting (Nov. 29-Dec. 3, Boston, USA).
- 31) K. Takenaka, N. Nishiyama, H. Miura, N. Saidoh, A. Inoue, Fundamental properties and nano-imprintabilities of Zr-, Pd- and Cu-based glassy alloy thin film, 2010 MRS fall meeting (Nov. 29-Dec. 3, Boston, USA).
- 32) M. Ohtake, J. Higuchi, O. Yabuhara, F. Kirino, M. Futamoto, Preparation of Metastable bcc Permalloy Epitaxial Thin Films on GaAs Single-Crystal Substrates, ICAUMS 2010 (Dec. 5-8, Jeju, Korea).
- 33) O. Yabuhara, M. Ohtake, K. Tobar, T. Nishiyama, F. Kirino, M. Futamoto, Structural and Magnetic Properties of FePd and CoPd Alloy Epitaxial Thin Films Grown on MgO Single-Crystal Substrates with Different Orientations, ICAUMS 2010 (Dec. 5-8, Jeju, Korea).
- 34) K. Matsubara, M. Ohtake, K. Tobar, M. Futamoto, Structure and Magnetic properties of Fe Epitaxial Thin Films Prepared by UHV-RF-Magnetron Sputtering on GaAs Single-crystal Substrates, ICAUMS 2010 (Dec. 5-8, Jeju, Korea).

- 35) J. Higuchi, M. Ohtake, Y. Sato, F. Kirino, M. Futamoto, NiFe Epitaxial Films with hcp and fcc Structures Prepared on bcc-Cr Underlayers, ICAUMS 2010 (Dec. 5-8, Jeju, Korea).
- 36) K. Tobar, M. Ohtake, K. Nagano, F. Kirino, M. Futamoto, Structure Characterization of Pd/Co/Pd Tri-layer Films Epitaxially Grown on MgO Single-Crystal Substrates, ICAUMS 2010 (Dec. 5-8, Jeju, Korea).
- 37) K. Nagano, K. Tobar, M. Ohtake, M. Futamoto, Spatial Resolution of Magnetic Force Microscope Tips Coated with 3d Ferromagnetic Materials, ICAUMS 2010 (Dec. 5-8, Jeju, Korea).
- 38) S. Sasaki, K. Nagano, M. Ohtake, M. Futamoto, N. Saidoh, K. Takenaka, N. Nishiyama, A. Inoue, Measurement of Switching Field Distribution of Bit Patterned Media by High-Resolution Magnetic Force Microscopy, ICAUMS 2010 (Dec. 5-8, Jeju, Korea).

【平成23年度】

- 1) P. Sharma, N. Kaushik, A. Makino, A. Inoue, Anomalous temperature dependence of coercivity at low temperature in L10 FePt thin films, INTERMAG 2011 (April 25-29, Taipei, R.O.C.).
- 2) M. Ohtake, J. Higuchi, F. Kirino, M. Futamoto, Structural and magnetic properties of metastable bcc-permalloy thin film epitaxially grown on GaAs single-crystal substrates, INTERMAG 2011 (April 25-29, Taipei, R.O.C.).
- 3) K. Soneta, K. Nagano, M. Ohtake, M. Futamoto, Influence of Magnetic coating material and tip radius on the spatial resolution of magnetic force microscopy, INTERMAG 2011 (April 25-29, Taipei, R.O.C.).
- 4) S. Ouchi, K. Matsubara, M. Ohtake, M. Futamoto, Structure analysis of MgO/Fe bi-layer films epitaxially grown on GaAs single-crystal substrates with different orientation, INTERMAG 2011 (April 25-29, Taipei, R.O.C.).
- 5) N. Saidoh, Surface and cross sectional nano-structure of prototype BPM prepared using imprinted glassy alloy thin film, BMG-VIII (May 15-19, Hong Kong).
- 6) H. Miura, Strength and conductivity of Cu-cladding Fe-based glassy alloy composites sheets, BMG-VIII (May 15-19, Hong Kong).
- 7) K. Takenaka, Novel soft-magnetic underlayer of a bit patterned media using CoFe-based amorphous alloy thin film, BMG-VIII (May 15-19, Hong Kong).
- 8) N. Nishiyama, The World's biggest bulk glassy alloy ever made, BMG-VIII (May 15-19, Hong Kong).
- 9) Y. Fukuda, Y. Saotome, N. Nishiyama, K. Takenaka, N. Saodoh, E. Makabe, A. Inoue, Fabrication of nanodot array with ultrahigh density of 2 Tbit/inch² by FIB-CVD mask patterning and RIE, and nanoimprint of metallic glass, ASNIL 2011 (Jun. 26- Jul. 1, Suntec, Singapore).
- 10) N. Nishiyama, Nano-morphology analysis of imprinted glassy alloy thin films by

- a FDM method, THERMAC' 2011 (Aug. 1-5, Quebec, Canada).
- 11) H. Miura, Applicable investigation of Cu-based non-equilibrium crystalline alloy long strip with high strength and good electrical conductivity, THERMAC' 2011 (Aug. 1-5, Quebec, Canada).
 - 12) N. Nishiyama, K. Takenaka, N. Saidoh, A. Inoue, Nano-patterning of glassy alloy thin film for the application of bit-patterned media, ANMM 2011 (Sep. 5-7, Iasi, Rumania).
 - 13) Y. Fukuda, Y. Saotome, N. Nishiyama, K. Takenaka, N. Saodoh, E. Makabe, A. Inoue, Fabrication nanodot array mold with ultrahigh recording density of 2 Tbit/inch² and nanoimprint of metallic glass, MNE2011 (Sep. 19-23, Berlin, Germany).
 - 14) M. Ohtake, M. Futamoto, Preparation of 3rd ferromagnetic transition metal thin films with metastable crystal structure, IUMRS-ICA 2011 (Sep. 19-22, Taipei, R.O.C.).
 - 15) M. Ohtake, K. Soneta, M. Futamoto, Influence of magnetic material composition of Fe_{100-x}B_x coated tip on the spatial resolution of magnetic force microscopy, MMM-2011 (Oct. 31- Nov. 3, Scottsdale, USA).
 - 16) M. Ohtake, S. Ouchi, F. Kirino, M. Futamoto, L10 ordered phase formation in FePt, FePd, CoPt and CoPd alloy thin films epitaxially grown on MgO(001) single-crystal substrates, MMM-2011 (Oct. 31- Nov. 3, Scottsdale, USA).
 - 17) M. Ohtake, Y. Nonaka, M. Futamoto, Metastable bcc Ni single-crystal films prepared on GaAs single crystal substrates of different orientation, SMM2011 (Sep. 18-22, Kos, Greece).
 - 18) M. Futamoto, Growth-control and microstructure characterization of magnetic thin films, application to high density perpendicular magnetic recording media, MINT workshop at Alabama Univ. (Oct. 28, Tuscaloosa, USA).
 - 19) M. Futamoto, Growth-control and microstructure chahacterization of magnetic thin films, application to high density perpendicular magnetic recording media, Invited Lecture at Iowa State Univ.
 - 20) A. Makino, M. Yokoyama, S. Kim and P. Sharma, Changes in Structural and Magnetic Properties on Crystallization of Fe-rich FeSiBPCu Nano hetero-amorphous Alloys, MMM-2011 (Scottsdale)
 - 21) Zeqiang Zhang, Parmanand Sharma, Kunio Yubuta, Akihiro Makino, Synthesis, microstructure and magnetic properties of low Nd content Fe₉₀Nd₅B_{3.5}M_{1.5} (M= Hf, Ti and Ta) alloys, MMM-2011 (Scottsdale)

5 国内会議・学会等発表リスト

【平成19年度】

- 1) 大竹充, 桐野文良, 二本正昭, MgO(011)基板上に形成したエピタキシャルFe_{0.X}(X=Cu, Ag, Au)多層膜の構造と磁気特性, 2007年秋期 応用物理学会学術講演会, 平成19年9月.

- 2) 田淵健司, 鹿田昂平, 大竹充, 二本正昭, エピタキシャルFe/X(X=Cu, Ag, Au)多層膜の電気および磁気特性, 2007年秋期 応用物理学会学術講演会, 平成19年9月.
- 3) 鹿田昂平, 田淵健司, 大竹充, 桐野文良, 二本正昭, fcc(111)下地上に形成したエピタキシャルFe薄膜の微細構造および磁気特性, 2007年秋期 応用物理学会学術講演会, 平成19年9月.
- 4) 下舞恵介, 安井佑介, 二本正昭, 高密度磁気記録媒体の磁化状態に及ぼす環境の影響, 2007年秋期 応用物理学会学術講演会, 平成19年9月.
- 5) 鹿田昂平, 田淵健司, 大竹充, 桐野文良, 二本正昭, 酸化物単結晶基板上におけるFe薄膜のエピタキシャル成長, 第31回日本応用磁気学会学術講演会, 平成19年9月.
- 6) 大竹充, 鹿田昂平, 桐野文良, 二本正昭, エピタキシャルFe/Au多層膜の構造と磁気特性, 第31回日本応用磁気学会学術講演会, 平成19年9月.
- 7) 安井佑介, 下舞恵介, 二本正昭, 外部環境が垂直磁気記録媒体の磁化状態に及ぼす影響, 第31回日本応用磁気学会学術講演会, 平成19年9月.
- 8) 網谷健児, 早乙女康典, 西山信行, 浦田顕理, 井上明久, Fe-Ga-(P, C, B, Si)系金属ガラスの粘性流動を用いた微細構造転写, 日本金属学会 2007年秋期大会, 平成19年9月.
- 9) 富樫望, 西山信行, 石田央, 竹田英樹, 清水幸春, 早乙女康典, 井上明久, 潤滑状態における金属ガラスの耐摩耗性, 日本金属学会 2007年秋期大会, 平成19年9月.
- 10) 加藤秀実, 五十嵐仁, 井上明久, 金属ガラスの降伏歪の温度依存性と合金系による変化, 日本金属学会 2007年秋期大会, 平成19年9月.
- 11) 西山信行, Y. Q. Zeng, D. Pan, 加藤秀実, 井上明久, MR0領域を分散したNi-Pd-P系ガラス合金の組織と機械的性質, 日本金属学会 2007年 秋期大会, 平成19年9月.
- 12) 網谷健児, 早乙女康典, 西山信行, 浦田顕理, 井上明久, Nano-imprint of Fe-based metallic glass as a magnetic material, 第58回塑性加工連合講演会, 平成19年10月.
- 13) 早乙女康典, State of the art in micro forming, 第58回塑性加工連合講演会, 平成19年10月.
- 14) 柴田昌紀, 早乙女康典, 西山信行, 網谷健児, 牧野彰宏, 井上明久, Fe基金属ガラスのナノインプリント特性, 第15回機械材料, 材料加工技術講演会, 平成19年11月.
- 15) 西山努, 田中孝浩, 鹿田昂平, 大竹充, 桐野文良, 二本正昭, 酸化物単結晶基板上におけるNi(111)薄膜のエピタキシャル成長, 2009年春季 応用物理学関係連合講演会, 平成20年3月.
- 16) 額田友里, 大竹充, 桐野文良, 二本正昭, MgO単結晶基板上におけるCo薄膜のエピタキシャル成長, 2009年春季 応用物理学関係連合講演会, 平成20年3月.
- 17) 田中孝浩, 西山努, 鹿田昂平, 大竹充, 桐野文良, 二本正昭, MgO単結晶基板上におけるNi薄膜のエピタキシャル成長, 2009年春季 応用物理学関係連合講演会, 平成20年3月.

【平成20年度】

- 1) 李相旻, 加藤秀実, 久保田健, 木村久道, 牧野彰宏, 井上明久, Displacement Behavior Study for Stress Effect on Early Viscous Flow Nature of Fe-B-Nb-Y Metallic Glassy Powder on Spark Plasma Sintering, 日本金属学会 2008年秋期大会, 平成20年9月.

- 2) 名生達哉, 久保田健, 牧野彰宏, 井上明久, Fe-Si-B-P系バルク金属ガラスの作製とその磁気的性質, 日本金属学会 2008年秋期大会, 平成20年9月.
- 3) 西田元紀, 新保洋一郎, 富樫望, 西山信行, 早乙女康典, 井上明久, 粉末冶金法を用いた電気接点用Ni基複合化金属ガラスの作製と評価, 粉体粉末冶金協会 秋季大会, 平成20年11月.
- 4) 新保洋一郎, 西田元紀, 富樫望, 西山信行, 早乙女康典, 井上明久, 粉末冶金法を用いた電気接点用Cu基複合化金属ガラスの作製と評価, 粉体粉末冶金協会 秋季大会, 平成20年11月.
- 5) 富樫望, 清水幸春, 早乙女康典, 井上明久, 潤滑状態における金属ガラスの摩耗挙動, 日本金属学会 2009年春期大会, 平成21年3月.
- 6) 新保洋一郎, 宮川智, 西田元紀, 富樫望, 西山信行, 早乙女康典, 井上明久, 粉末冶金法を用いた電気接点用複合化金属ガラスの作製と評価, 日本金属学会 2009年春期大会, 平成21年3月.
- 7) 竹中佳生, 富樫望, 西山信行, 牧野彰宏, 早乙女康典, 井上明久, パルスレーザデポジション法による金属ガラス薄膜の作製と性質, 日本金属学会 2009年春期大会, 平成21年3月.
- 8) 三浦晴子, 西山信行, 西田元紀, 木村久道, 早乙女康典, 井上明久, 金属ガラス成分則を利用した電気接点用Cu基非平衡結晶合金の導電性と機械的性質, 日本金属学会 2009年春期大会, 平成21年3月.
- 9) 宮川智, 新保洋一郎, 西田元紀, 富樫望, 西山信行, 早乙女康典, 木村久道, 井上明久, 押出法を用いたCu基およびZr基金属ガラスと純銅の複合材料の作製と評価, 日本金属学会 2009年春期大会, 平成21年3月.
- 10) 西山信行, 竹中佳生, 富樫望, 牧野彰宏, 早乙女康典, 井上明久, Fe基金属ガラス薄膜の軟磁気特性と粘性流動加工性, 日本金属学会 2009年春期大会, 平成21年3月.

【平成21年度】

- 1) 宮川智, 新保洋一郎, 西田元紀, 三浦晴子, 西山信行, 早乙女康典, 木村久道, 井上明久, 押出法を用いたCu基複合化金属ガラスの作製と評価, 粉体粉末冶金協会 春季大会, 平成21年6月.
- 2) 西田元紀, 宮川智, 新保洋一郎, 三浦晴子, 西山信行, 早乙女康典, 木村久道, 井上明久, 押出法を用いたZr基複合化金属ガラスの作製と評価(2), 粉体粉末冶金協会 春季大会, 平成21年6月.
- 3) 新保洋一郎, 宮川智, 西田元紀, 三浦晴子, 西山信行, 早乙女康典, 木村久道, 井上明久, 押出法を用いたZr基複合化金属ガラスの作製と評価(1), 粉体粉末冶金協会 春季大会, 平成21年6月.
- 4) 佐々木翔太, 長野克政, 二本正昭, 富樫望, 竹中佳生, 西山信行, 井上明久, 磁気力顕微鏡によるパターンドメディアのスイッチング磁界分散の計測, 第33回日本磁気学会学術講演会, 平成21年9月.
- 5) 加藤秀実, 市坪哲, 井上明久, 金属ガラスの α 緩和と β 緩和, 日本金属学会 2009年秋

期大会, 平成21年9月.

- 6) 竹内章, 井上明久, 臨界パーコレーション濃度のクラスター充填局所原子構造をもつ金属ガラスの分子動力学シミュレーション, 日本金属学会 2009 年秋期大会, 平成21年9月.
- 7) 李雪, 加藤秀実, 湯蓋邦夫, 牧野彰宏, 井上明久, 優れた機械的性質を有するFe基バルクガラス合金の作製, 日本金属学会 2009年秋期大会, 平成21年9月.
- 8) 福田泰行, 真壁英一, 早乙女康典, 井上明久, FIB-CVD/RIEプロセスによるピッチ25nm ドット金型の創製と金属ガラスのナノインプリント, 日本塑性加工学会 (第60回塑性加工連合講演会), 平成21年11月.
- 9) 網谷健児, 早乙女康典, Fe 基金属ガラスのナノインプリント特性, 日本塑性加工学会 (第60回塑性加工連合講演会), 平成21 年 11 月.
- 10) 大竹充, 田中孝浩, 桐野文良, 二本正昭, hcp-Niおよびhcp-NiFe薄膜のエピタキシャル成長, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, 平成21年12月.
- 11) 額賀友理, 大竹充, 桐野文良, 二本正昭, MgO単結晶基板上に形成したエピタキシャルCo薄膜の構造解析, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, 平成21年12月.
- 12) 西洞紀子, 竹中佳生, 西山信行, 早乙女康典, 井上明久, Pd基金属ガラス薄膜のナノインプリント特性, 日本金属学会 2010年春期大会, 平成22年3月.
- 13) 竹内章, 井上明久, 三状態二分子可逆反応モデルに基づく金属ガラスのガラス遷移現象の解明, 日本金属学会 2010年春期大会, 平成22年3月.
- 14) 緒方真, 竹内章, R. V. Belosludov, 牧野彰宏, 井上明久, 川添良幸, 第一原理MDによるFe76Si9B10P5 非晶質合金の形成過程におけるダイナミクス解析, 日本金属学会2010年春期大会, 平成22年3月.
- 15) 三浦晴子, 西山信行, 井上明久, 金属ガラス成分則を拡張適用した電気接点用Cu基非平衡結晶合金の作製と特性, 日本金属学会 2010年春期大会, 平成22年3月.
- 16) 西山信行, 竹中佳生, 西洞紀子, 早乙女康典, 井上明久, ナノ転写加工したPd基金属ガラス薄膜の高密度磁気記録媒体への応用, 日本金属学会 2010年春期大会, 平成22年3月.
- 17) 加藤秀実, 市坪哲, 井上明久, 金属ガラスの動的緩和挙動と構造不均質性, 日本金属学会 2010年春期大会, 平成22年3月.
- 18) 竹中佳生, 西洞紀子, 西山信行, 井上明久, MGS法によるPd-Cu-Ni-P系金属ガラス薄膜の作製と性質, 日本金属学会 2010年春期大会, 平成22年3月.

【平成22年度】

- 1) 樋口潤平, 大竹充, 佐藤洋一, 桐野文良, 二本正昭, 準安定hcp-NiFe薄膜のエピタキシャル成長と特性評価, 2010年秋季 応用物理学学術講演会, 平成22年9月.
- 2) 大竹充, 藪原穰, 樋口潤平, 二本正昭, 準安定bcc-Co薄膜のエピタキシャル成長と特性評価, 2010年秋季 応用物理学学術講演会, 平成22年9月.
- 3) 長野克政, 戸張公介, 佐々木翔太, 大竹充, 二本正昭, 高分解能探針を用いた高密度磁気記録媒体の磁気力顕微鏡観察, 2010年秋季 応用物理学学術講演会, 平成22年9月.

- 4) 藪原穰, 大竹充, 戸張公介, 西山努, 桐野文良, 二本正昭, エピタキシャルFePdおよびCoPd合金薄膜の作製と構造評価, 2010年秋季 応用物理学学術講演会, 平成22年9月.
- 5) 戸張公介, 大竹充, 長野克政, 西山努, 桐野文良, 二本正昭, エピタキシャルCo/Pd多層膜の構造と磁気特性, 2010年秋季 応用物理学学術講演会, 平成22年9月.
- 6) 三浦晴子, 西山信行, 井上明久, 金属ガラス成分則を活用した電気接点用Cu基非平衡結晶合金の諸特性, 日本金属学会 2010年秋期大会, 平成22年9月.
- 7) 西山信行, 西洞紀子, 竹中佳生, 井上明久, 有限差分法(FDM)による金属ガラス薄膜のナノインプリント形状解析, 日本金属学会 2010年秋期大会, 平成22年9月.
- 8) 竹中佳生, 西洞紀子, 西山信行, 井上明久, MGS法による金属ガラス薄膜の作製とインプリント特性, 日本金属学会 2010年秋期大会, 平成22年9月.
- 9) Y. Wang, P. Shrama, A. Makino and A. Inoue, Preparation and property of glassy FeNbHfYB and L10 FePt bilayer thin films, 日本金属学会 2010年秋期大会, 平成22年9月.
- 10) P. Sharma, A. Makino and A. Inoue, Study of magnetic easy axis in L10 FePt(111)/CoFeTaB/SiO₂/Si tilted system for perpendicular recording, 日本金属学会 2010年秋期大会, 平成22年9月.
- 11) 長野克政, 戸張公介, 佐々木翔太, 大竹充, 二本正昭, 高分解能磁気力顕微鏡観察による高密度磁気記録媒体の記録磁化安定性の検討, 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, 平成22年10月
- 12) 福田泰行, 早乙女康典, 西山信行, 竹中佳生, 西洞紀子, 井上明久, FIB-CVDマスクパターンニングとRIEによる2 Tbit/inch²超高密度ドット配列金型の創製と金属ガラスのナノインプリント, 2011年春季 第58回応用物理学関係連合講演会(中止).
- 13) 野中雄介, 栗原武志, 大竹充, 桐野文良, 二本正昭, 超高真空分子線エピタキシー法により形成したSm-C 薄膜の構造と磁気特性, 2011年春季 第58回応用物理学関係連合講演会(中止).
- 14) 小林和樹, 大竹充, 二本正昭, Au下地層上に形成したエピタキシャルCo薄膜の構造解析, 2011年春季 第58回応用物理学関係連合講演会(中止).
- 15) 梓田和希, 長野克政, 大竹充, 二本正昭, 高分解能Co被覆磁気力顕微鏡探針の作製, 2011年春季 第58回応用物理学関係連合講演会(中止).
- 16) 島本晃平, 坂口紗紀, 大竹充, 二本正昭, Ru下地層上に形成した3d強磁性遷移金属薄膜の構造と磁気特性, 2011年春季 第58回応用物理学関係連合講演会(中止).
- 17) 大内翔平, 松原豪大, 大竹充, 二本正昭, 超高真空RFマグネトロン・スパッタリングによりGaAs単結晶基板上に形成したFe単結晶薄膜の構造と磁気特性, 日本鉄鋼協会春季講演大会(中止).
- 18) 西洞紀子, 竹中佳生, 西山信行, 石丸学, 井上明久, インプリントにより試作した金属ガラス薄膜BPMの表面および断面構造観察, 日本金属学会 2011年春季大会(中止).
- 19) 竹中佳生, 西山信行, 井上明久, 零磁わいCoFe基軟磁性非晶質膜のパターンドメディアへの応用, 日本金属学会 2011年春季大会(中止).

20) 西山信行, 竹中佳生, 曾宇橋, 井上明久, 大型Pd基金属ガラス塊の作製と冷却凝固挙動, 日本金属学会 2011年春期大会(中止).

21) 三浦晴子, 西山信行, 井上明久, Cuメッキで複合化したFe基金属ガラスクラッド材の機械的性質と導電性, 日本金属学会 2011年春期大会(中止).

【平成23年度】

1) 福田泰行, 早乙女康典, 西山信行, 竹中佳生, 西洞紀子, 井上明久, FIB-CVD マスクパターンニングとRIE による2 Tbit/inch² 超高密度ドット配列金型の創製と金属ガラスのナノインプリント, 次世代リソグラフィワークショップ (NGL2011), 平成23年7月.

2) 野中雄介, 大竹充, 二本正昭, GaAs 単結晶基板上に形成した準安定bcc 構造を持つエピタキシャルCo, Ni, NiFe 薄膜の構造解析, 電気情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, 平成23年7月.

3) 西洞紀子, 竹中佳生, 西山信行, 石丸学, 井上明久, 金属ガラスを用いた試作BPM の表面および断面構造観察, 日本金属学会 2011年秋期大会, 平成23年11月.

4) 三浦晴子, 西山信行, 井上明久, 高強度高導電性Fe 基金属ガラス複合クラッド材, 日本金属学会 2011年秋期大会, 平成23年11月.

5) 竹中佳生, 西洞紀子, 西山信行, 井上明久, (Co, Fe)-B-Si-Nb 系軟磁性非晶質薄膜のパターンドメディアへの応用, 日本金属学会 2011年秋期大会, 平成23年11月.

6) 西山信行, 竹中佳生, 三浦晴子, 西洞紀子, 井上明久, 有限差分法(FDM)による大型Pd基金属ガラス塊の冷却挙動解析, 日本金属学会 2011年秋期大会, 平成23年11月.

7) Y. Wong, P. Sharma, A. Makino, Fabrication and magnetic characterization of (111) L1₀ FePt/glassy FeNbHfYB bilayered thin films, 日本金属学会 2011年秋期大会, 平成23年11月.

8) P. Sharma, Y. Wong, A. Makino, Fabrication and magnetic properties of L1₀ FePt thin films for tilted magnetic recording media, 日本金属学会 2011年秋期大会, 平成23年11月.

9) Z. Zhang, P. Sharma, A. Makino, Effects of simultaneous addition of Cu and P on crystallization behavior, microstructure and soft magnetic properties of Fe-rich FeB alloys, 日本金属学会 2011年秋期大会, 平成23年11月.

10) 大竹充, 大内翔平, 桐野文良, 二本正昭, MgO 単結晶基板におけるFePt, FePd, CoPt およびCoPd 合金薄膜のエピタキシャル成長, 電気情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, 平成23年12月.

11) 梓田和希, 大竹充, 二本正昭, Co およびFe-B 磁性膜被覆による高分解能磁気力顕微鏡探針の作製, 電気情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会, 平成23年12月.

12) 鈴木大輔, 大竹充, 大内翔平, 桐野文良, 二本正昭, MgO(111)単結晶基板上に形成したCoPt およびCoPd 合金薄膜の構造と磁気特性, 2012年春期 応用物理学会学術講演会, 平成23年3月.

13) 板橋明, 大竹充, 小林和樹, 大内翔平, 桐野文良, 二本正昭, MgO 単結晶基板上に形成したFePd 合金単結晶薄膜における製膜後アニールによるA1-L1₀ 相変態, 2012年春期 応

用物理学会学術講演会, 平成23年3月.

14) 柳川貴人, 大竹充, 島本晃平, 二本正昭, bcc(100)単結晶下地層上における準安定hcp構造を持つNiおよびNiFe合金薄膜の形成, 2012年春期 応用物理学会学術講演会, 平成23年3月.

15) 葉上達也, 梓田和希, 石原慎司, 大竹充, 二本正昭, FeB合金膜被覆した磁気力顕微鏡探針の構造と空間分解能に及ぼす被覆膜組成および膜厚の影響, 2012年春期 応用物理学会学術講演会, 平成23年3月.

16) 石原慎司, 葉上達也, 梓田和希, 大竹充, 二本正昭, FePd合金膜被覆した磁気力顕微鏡探針の空間分解能と反転磁界, 2012年春期 応用物理学会学術講演会, 平成23年3月.

17) 西山信行, 金属ガラスの実用化・事業化への展開, 新素材の活用と加工への挑戦山口セミナー, 平成23年11月.

18) 早乙女康典, 複合化金属ガラスの硬磁性・新規合金に関する基礎技術開発, 『新金属文明を切り開き、進化を続ける“金属ガラス”』シンポジウム, 平成24年2月

19) 二本正昭, 超高密度磁気記録媒体の設計と基礎評価, 『新金属文明を切り開き、進化を続ける“金属ガラス”』シンポジウム, 平成24年2月

20) 西山信行, プロジェクトの概要, 『新金属文明を切り開き、進化を続ける“金属ガラス”』シンポジウム, 平成24年2月

21) 竹中佳生, 磁気記録媒体の高密度化とグリーンイノベーション, 『新金属文明を切り開き、進化を続ける“金属ガラス”』シンポジウム, 平成24年2月

22) 三浦晴子, 電気接点部材の高度化とIT機器への展開, 『新金属文明を切り開き、進化を続ける“金属ガラス”』シンポジウム, 平成24年2月

23) 西山信行, 進化し続ける新金属材料複合化金属ガラス～金属ガラスの実用化・事業化への展開～, TECH biz EXPO 次世代ものづくり基盤技術産業展, 平成23年10月

24) 清水幸春, 超微小モータ用部材の開発とライフイノベーション, 『新金属文明を切り開き、進化を続ける“金属ガラス”』シンポジウム, 平成24年2月

25) 清水幸春, 金属ガラス製極小ギヤの開発とマイクロモータへの応用, 新素材の活用と加工への挑戦山口セミナー, 平成23年11月.

26) 清水幸春, 金属ガラス製極小ギヤの開発とマイクロモータへの応用 『次世代金属材料「金属ガラス」研究開発の最新動向』東北大金研NEDO講座・関西センターものづくり基礎講座技術セミナー, 平成24年2月.

6 受賞実績

- 1) 井上明久プロジェクトリーダー：2ー：2010 Acta Materialia, Inc. Gold Medal Award.
- 2) 二本正昭中央大学教授：2011 IEEE Distinguished Lecturer
- 3) 竹中佳生特別研究員：RQ13, Best Poster Award, 平成21年8月26日.
- 4) 竹中佳生特別研究員：BMG-VII, Best Poster Award, 平成21年11月4日.
- 5) 福田泰行研究員：第60回日本塑性加工学会 優秀講演論文奨励賞, 平成21年11月1日.
- 6) 竹中佳生特別研究員：Fall Meeting 奨励賞, 平成22年12月22日.

7 展示会等成果普及活動

- 1) 西山信行, 「金属ガラスの基礎と、その構造・特性および技術動向」, 主催：(株)情報機構, きゅりあん(東京大井町), 平成20年1月18日講演.
- 2) 「国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」nano tech 2008, 主催：nanotech実行委員会, 東京ビックサイト, 平成20年2月13日～15日 出展.
- 3) 西山信行, 「金属ガラスの基礎・応用・実用化」, 主催：サイエンス&テクノロジー, 東京八重洲ホール, 平成20年5月23日日 講演.
- 4) 「金属ガラスの工業化・実用化への展開」, 主催：早稲田大学ナノテクノロジーフォーラム・IFMG合同シンポジウム, 早稲田大学大久保キャンパス, 平成20年10月10日展示.
- 5) 西山信行, 金属ガラスの工業化・実用化への展開, 主催：金属ガラスNEDO特別講座, 東大阪クリエーションコア, 平成21年1月30日 講演.
- 6) 「国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」nano tech 2009, 主催：nanotech実行委員会, 東京ビックサイト, 平成21年2月18日～20日 展示.
- 7) 西山信行, 金属ガラスとその応用, 「第一回青葉技術会・ビジネス交流会」, 主催：青葉技術会, 東北大学東京分室, 平成21年3月12日 講演.
- 8) 西山信行, 金属ガラスの具体的応用について, 「続・金属ガラスの可能性 先端材料による新技術活用研究交流会」, 主催：(財)中国地域ニュービジネス協議会, ホテル八丁堀シヤンテ, 平成21年5月14日 講演.
- 9) 西山信行, 金属ガラスの基礎知識と開発動向, 「新技術・市場探索セミナー」, 主催：長野県テクノ財団, UF0長野, 平成21年10月23日 講演.
- 10) 「ナノテクノロジーと新金属材料(産学連携の新しいカタチ) Part2」, 主催：早稲田大学ナノテクノロジーフォーラム, 金属ガラスNEDO特別講座, 早稲田大学理工学部, 平成21年11月9日～10日 展示.
- 11) 「国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」, nano tech 2010, 主催：nanotech実行委員会, 東京ビックサイト, 平成22年2月17日～19日 展示.
- 12) 西山信行, 「金属ガラスの基礎と実用化および今後の可能性」, 主催：(株)情報機構, 川崎市産業振興会館, 平成22年10月12日 講演.
- 13) 西山信行, 金属ガラスの技術動向とRIMCOFの研究開発, 「第3回 素形材新技術連携シンポジウム」, 主催：財団法人素形材センター, 機械振興会館, 平成22年11月11日 講演.
- 14) 「国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」nano tech 2011, 主催：nanotech実行委

員会，東京ビックサイト，平成23年2月16日～18日 展示.

15) 西山信行「金属ガラスの技術研究開発動向」， nano tech 2011， 主催：nanotech実行委員会，東京ビックサイト，平成23年2月17日 講演.

16) 「日本大学—東北大学合同シンポジウム（「医・歯・工」連携に向けた新材料の開発）」，日本大学会館，平成23年3月3日展示.

17) 西山信行「金属ガラスの実用化・事業化への展開」，「日本大学—東北大学合同シンポジウム」，日本大学会館，平成23年3月3日 講演.

18) 「TECH biz EXPO 次世代ものづくり基盤技術産業展」， 主催：名古屋国際見本市委員会，ポートメッセなごや，平成23年10月19-22日 展示.

19) 西山信行，FLOW-3Dのナノインプリント加工への応用，「FLOW-3D Users Conference 2011 in Japan」， 主催：(株)フローサイエンスジャパン，東京国際フォーラム，平成23年10月28 講演.

20) 「新素材の活用と加工への挑戦 山口セミナー」， 主催：やまぐち産業振興財団，NEDO 講座，IFMG，山口グランドホテル，平成23年11月18 展示.

21) 西山信行，金属ガラスの実用化・事業化への展開，「新素材の活用と加工への挑戦 山口セミナー」， 主催：やまぐち産業振興財団，NEDO講座，IFMG，山口グランドホテル，平成23年11月18 講演.

22) 「新金属文明を切り開き、進化を続ける“金属ガラス”」シンポジウム，仙台国際センター，平成24年2月29日 展示.

第 3 章 評価

第3章 評価（案）

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

本事業は、我が国で開発されたバルク金属ガラスを複合化することにより、一層の機能強化と応用技術の開発を事業目的に位置付けていること、さらに、総合科学技術会議の分野別推進戦略に基づくイノベーション創生の中核となる革新的材料技術開発という、国が先導すべき事業であること、以上から高く評価される。

また、国際的に我が国がリードしている金属材料、特に磁性材料関連分野において、その優位性を維持するためにも重要な技術開発であるが、民間企業だけではリスクが高く国が関与し支援することが必要である。従って、事業の目的・政策的位置付けは妥当であると認められる。

一方、共通基盤技術研究開発及び実用化技術研究開発として3つのテーマを設定していることは十分に評価できるが、それぞれのテーマが金属ガラスのどのような構造・特性と具体的に結びつき、事業の目的が達成できるかについては、必ずしも明確でない点がある。

【肯定的意見】

- ・本事業は、総合科学技術会議の分野別推進戦略に沿ったものであり、我が国が伝統的に世界をリードしてきた金属材料、特に磁性材料分野においてその優位性を維持するためにも重要なものであると位置付けられる。また我が国発のオリジナル技術に対し諸外国が国策的に追い上げている現状からも、本事業の実施は重要度の高いものであったといえる。
- ・最先端を誇る素材は最終製品の性能を大きく左右する。モノづくり立国・日本として世界をリードしていく上で重要視すべき研究開発分野であり、上位のロードマップと関連づけられている事業として、目的は妥当で、政策的な位置付けにかなうプロジェクトであると考えられる。
- ・従来にない、種々の新規の特性や構造を有する金属ガラスを具体的な用途や応用に向けて基盤技術を開発することは重要であり、積極的に進めるべき事業である。
- ・金属ガラスを構造用材料として利用するのみでなく、機能性材料としての新たな適用の可能性を見出す基盤研究は重要である。
- ・本事業を共通基盤技術研究開発と実用化技術研究開発とに分けた上で、ともに連携を取りながら実施する体制は政策的意義の具現化に十分叶うものである。
- ・新規の素材技術開発と実用化目標達成に成功すれば国際的にも優位性が確保でき、社会的・経済的意義はきわめて高い。

- ・国の政策的方向性が明確に謳われている背景のもと、これにマッチングする方向で本事業が立案され、また、役割分担と連携体制が取られていることは評価できる。
- ・次世代高密度磁気記録媒体の開発は、最先端の研究開発分野であり熾烈な競争が繰り広げられている。高いリターンが得られる一方で、リスクが高く民間企業が二の足を踏むことが考えられる。こうした研究領域に国が関与し支援することへの民間企業のニーズは強いと思われる。
- ・本事業は、我が国で開発されたバルク金属ガラスを複合化することにより一層の機能強化と応用技術の開発をその事業目的に明確に位置付けていること、さらに、ナノテクノロジー・材料技術分野と素形材産業技術分野の融合による革新的な材料製造技術開発という国が先導すべき戦略的政策を有することから、高い評価が与えられる。従い、事業目的・政策的位置付け・国の関与の必要性、どの視点からも適切かつ妥当であったと考えられる。

【問題点・改善すべき点】

- ・共通基盤技術研究開発および実用化技術研究開発として3つのテーマを設定していることは十分に評価できる。ただし、それぞれのテーマが金属ガラスのどのような構造・特性と具体的に結び付き、達成できるかについては必ずしも明確でない点がある。
- ・複合化金属ガラスに着目しているが、実用化を考えた上での「複合化」とはどのようなものか、また、製造プロセスの簡便化はどうあるべきか、などの検討が十分とは言えない点がある。
- ・金属ガラスという大きな領域の中で、特にどの対象にターゲットを絞って集中的に研究開発を進めていくのか、といった議論はなされたと思われ、その結果選定された3つの対象（次世代高密度磁気記録媒体、超微小モータ用部材、高強度・高導電性電気接点部材）も妥当なものとして判断されるが、その選定の理由（他に考えられ得る候補と比較し、なぜこれらを取り上げるに至ったのか）が明確に示されていなければなお良かった。
- ・技術が実用化されるためには最終製品メーカーの要求に合致することが不可欠である。しかし要求事項が表に出てくることは少ない。国は接点を持つ素材メーカーと連携して完成品メーカーの動向を探り、事業に反映していくことがこれまで以上に求められる。
- ・韓国がサムスン電子と共同で太陽光パネルへの応用を研究している。新エネルギーは成長が見込まれる分野であり、同国の取り組みについて注視していくことが重要だと考える。
- ・戦略的にこの領域を伸ばしていくとした場合、各国政府の研究施策についての状況認識と関連させることが望ましい。今回のプロジェクトは、日本における政府主導の研究プロジェクトに共通する問題に直面していると理解できる点から、この研究成果を踏まえて上位の施策に対する提言があつてよい事業内容である。

2. 研究開発等の目標の妥当性

事業全体を、共通基盤技術研究開発と実用化技術研究開発の2つに分け、開発項目ごとに設定根拠を明確にしていることから、体制を含めた目標設定は極めて妥当である。また、達成目標は定量化されており、個々の目標水準は、国際競争力の確保の上で極めて妥当な数値であると判断される。

一方、目標設定の背景・意義あるいは優位性等は理解できるものの、各開発項目を優先して行う理由や今後の広がりの中で明確でない点がある。また、「複合化」の狙いや意味するところなど突っ込んだ設定があるとよかった。併せて、目標のすりあわせが十分であったのか検証が必要だと思われる。

【肯定的意見】

- ・本事業全体を2つのスキームに分けて、各スキームに3つの目標を設定し、基盤技術の確立と実用化技術の開発とを並行し、かつ、連携して遂行することはきわめて妥当である。
- ・共通基盤技術研究開発、実用化技術研究開発ともに達成目標が定量化されており、また、個々の目標水準は、国際競争力確保の上で極めて妥当な数値であると判断される。
- ・検討対象となった各々の系について、研究開発開始当初の時点における課題を克服するために必要なレベルを把握した上で、適切な目標が設定されていると判断される。
- ・事業全体が、学が主導すべき金属ガラスの機能強化と新機能付与に関する共通基盤技術研究開発と、その成果を産に迅速に技術移転する実用化技術研究開発に分けられていること、そして、各開発項目の目標設定も炭素鋼の2倍以上の強度が微小部材には必要などすべて設定根拠が明確であったことなどから、体制を含めた目標設定は極めて適切かつ妥当であったと考えられる。
- ・ビッグデータの活用が現実的になる中で、大容量情報の記録ニーズは今後も高まることが容易に予想される。硬磁性・ナノ構造部材技術と次世代高密度磁気記録媒体の開発は研究開発プロジェクトとして重要であり、明確な目標が示されている。
- ・高強度・超々精密部材技術と超微小モータ用部材の研究は、成長性の高い医療関連分野での成果がもたらされる。研究開発プロジェクトとして重要であり、明確な目標が示されている。

【問題点・改善すべき点】

- ・各スキームで3つのテーマを設定した背景・意義あるいは優位性は理解できるものの、これらを優先して設定した理由や今後の広がりの中で明確でない点がある。
- ・「複合化」の狙いや意味するところ、すなわち、どのようなものを複合化とするのか、また、複合化で目標達成できると判断した根拠は何かなどについて、もっと突っ込んだ設定があるとよかった。

- ・各検討対象とも数値目標で明確に示されていることは評価されるが、その値を達成するために必要となる要素技術などについて、もう少し具体的にブレイクダウンして示されていればなお良かった。
- ・研究開発終了時点而言えば、HDDに関しては、5 Tbit/in²を目指した研究が盛んになっている。今回の目標が達成された後の段階を視野に入れた目標を設定するという余地があったように推察する。
- ・高強度・高導電性部材技術の研究開発では派生的な成果が生み出された。しかし、高強度・高導電性電気接点部材の開発は1年で撤退を招く残念な結果になった。目標のすりあわせが十分であったのか、検証が必要だと思われる。
- ・目標値とその設定根拠・判断基準は明確であったが、複合化金属ガラスという未開拓の技術領域を多く含む材料に対しては、5か年計画である本事業における目標値が高すぎた印象も受け取られる。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

共通基盤技術研究開発は、目標設定値が達成されており、想定以上の成果が得られている。実用化技術研究開発では、一部に未達成なものがあり適用を難しくしているものの、特許出願等で開発技術の優位性が確保できている。

一方、共通基盤技術研究開発の目標の設定値が高かったためと考えられるが、共通基盤技術研究開発に重きが置かれ、早期の技術移転と基盤研究開発等の密な連携が必要な実用化技術研究開発への展開が多少遅れたものと考えられる点がしばしば見られ、目標値の見直しなども積極的に検討すべきであったと考えられる。また、金属ガラスを用いることではじめて実現できたのか、なぜ金属ガラスなのか、また金属ガラスにどのような特性が要求されているのかなどについて、もっと深い検討があるとよかった。

【肯定的意見】

- ・共通基盤技術研究開発の目標値は概して達成されていることから、高い評価が与えられる。さらに、高強度・高導電性部材技術開発においては、金属ガラスから非平衡結晶合金を対象を改めるなど柔軟な研究開発が行われ、期待と想定以上の成果が得られているものと考えられる。またコネクタへの応用技術開発においては、現状技術の範囲内では適用が難しいなど、今後の発展につながる有益な知見（インカム）が得られており、これも高く評価される。
- ・共通基盤技術研究開発は想定以上の成果が得られているものの、一部の実用化技術研究開発に未達成なものがあり適用を難しくしているが、特許出願等で開発技術の優位性が確保できている。
- ・次世代高密度磁気記録媒体に関しては、実質的には当初の目標とアウトプットが一部ストレートに対応していない部分もみられるが、途中での参画企業の交代などを考慮すれば、総じて期待されたような成果が挙げたと判断できる。
- ・民間企業が金属ガラスを有望な素材として、研究テーマや事業に明確な位置付けを与えていることがわかった。
- ・硬磁性・ナノ構造部材技術と次世代高密度磁気記録媒体の研究開発および高強度・超々精密部材技術と超微小モータ用部材の研究開発は、目標に対して十分な成果を上げるとともに実用化に向けた技術開発への進展が期待される。

【問題点・改善すべき点】

- ・共通基盤技術研究開発の目標値設定が高すぎたためと考えられるが、目標値の達成に共通基盤技術研究開発の重きが置かれ、早期の技術移転と基盤技術研究開発等の密な連携が必要な実用化技術研究開発への展開が多少遅れたものと考えられる点がしばしば見られ、目標値の見直しなども積極的に検討すべきであったと考えられる。
- ・金属ガラスを用いることではじめて実現できたのか、なぜ金属ガラスなのか、また金

属ガラスにどのような特性が要求されているのかなどについて、もっと深い検討があるとよかった。実用化技術研究開発では、目標値は準静的に達成されており、評価でき、試作媒体も評価し目標を達成しているが、試作媒体が実用的に通用すると判断できるのかについては、課題がある。

- ・ギヤ部品としては耐摩耗性も重要な特性であり、この点について実用化に問題がないかの検討が十分にはなされていない。実用化を目指す上では重要な特性である。実用的観点からは、耐摩耗性や、耐食性、コストなどの評価も重要と考えられ、実用化に向けては課題となる。
- ・非平衡結晶合金の可能性を示した点では評価できるが、粉末冶金材は、通常、加工性やばね性を達成することは大変困難であり、目標達成の見込みが当初どの程度想定されたか、また、達成のための取組みに課題がなかったか、気になる点である。実用の製造プロセス上で非平衡結晶を安定的に製造することがどの程度可能かについては課題があるように思われる。
- ・高強度・高導電性電気接点部材の開発が打ち切られた翌年度、高強度・高導電性部材技術の研究開発で派生的ではあるが一定の成果が上がった。成果の橋渡しがうまくいってれば、高強度・高導電性電気接点部材の開発結果が違ったものになっていたのだろうか。そうだとすれば残念に思う。プロジェクトの進行について、関係者が相互に関心を払うことが重要だと考える。
- ・高強度・高導電性電気接点部材の研究開発については所定目標の達成がなされなかったとの自己評価だが、「共通基盤技術研究開発」側と「実用化技術研究開発」側との連携がより緊密であれば、研究開発がもう少し効率よく進められたかもしれないという印象を受けた。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

目標値を概ね達成しており、また、事業化に向けた技術的課題や市場の動向、顧客の要求といったことについても把握しており、今後の取り組みに期待が持てる。また、産学一体の体制で重点的に実施された次世代高密度磁気記録媒体（ハードディスク）への応用と超微小ギヤードモータ用遊星歯車への応用では、本事業の内で試作品の開発に成功している。

一方、事業化に当たっては、一定の性能のものが安定的に製造できること、また、コストに見合う性能を持っていることなどが要件であり、まだ、課題が残されている。また、波及効果に関しては、実用化技術研究開発が3つに厳選されたことから、十分な効果とは言えず、別途並行して他の応用部材・応用分野に関する実用化シナリオの研究も遂行し、我が国が世界をリードする金属ガラスの更なる応用対象の発掘と拡大も、本事業の内で進めるとより広域な波及効果が得られたものと考えられる。

【肯定的意見】

- ・目標値を概ね達成しており、また、事業化に向けた技術的課題や市場の動向、顧客の要求といったことについても把握しており、今後の取り組みに期待が持てる。
- ・金属ガラスの機能材料分野への適用・発展が期待できる性能も十分に実証されており、波及効果としての展開が期待できる。
- ・事業化の度合いは産業界からの実際のニーズにも左右されるが、3つの検討対象とも概ね事業化の見通しは立っていると判断される。今後は、量産化プロセスなどの詳細技術のさらなる向上が望まれる。
- ・平成26年度から順次事業化に向けて体制が整っている。省エネルギー効果や新規市場創出効果が期待されている市場が十分検討できている。
- ・産学一体の体制で重点的に実施された次世代高密度磁気記録媒体と超微小モータ用部材の開発では、本事業の内で試作品の開発に成功している。参画した民間企業は、成果の有望性を明確に認識している。従い、複合化金属ガラスの応用部材のいくつかの事業化の見通しを得るに至っている点が高く評価される。

【問題点・改善すべき点】

- ・事業化に当たっては、一定の性能のものが安定的に製造できること、また、コストに見合う性能を持っていることなどが要件であり、まだ、課題が残されている。
- ・実用化の観点から本事業の研究開発の複合化法がすべて妥当であると判断できるかは課題である。いずれも金属ガラスを活用した複合化技術によって達成されており、評価できる。
- ・費用対効果の見積もりについて、該当する製品の市場全体の規模を対象になされていたが、現行製品・技術や研究開発が進行中の競合技術に対する優位性（シェア）につ

いても触れられていればなお良かった。

- ・金属ガラスの実用化されている領域、今回設定した実用化領域での代替的な技術アプローチを踏まえ、事業化、波及効果については、見通しが必要と思われる。
- ・参画企業が最終製品メーカーでないため、主要顧客や市場ニーズを不断に見直し計画を修正していくことが求められる。
- ・次世代高密度磁気記録媒体の開発では富士通から引き継いだ昭和電工が意欲的に取り組んだのとは対照的に、高強度・高導電性電気接点部材の開発は1年で開発の先行きが厳しいと見極められてしまった。共通基盤技術研究開発との連動性において、もう少し開発に取り組む上での地ならしをしておく必要があったのではないかと考える。
- ・波及効果に関しては、実用化技術研究開発が3つに厳選されたことから、十分な効果とは言えず、別途並行して他の応用部材・応用分野に関する実用化シナリオの研究開発も遂行し、我が国が世界をリードする金属ガラスの更なる応用対象の発掘と拡大も、本事業の内で進めるとより広域な波及効果が得られたものと考えられる。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

本事業の構成を共通基盤技術研究開発と実用化技術研究開発に分けてそれぞれ目標を設定し、プロジェクトリーダーのもと、集中研を軸に展開されており、研究のマネジメントや効果的連携の観点から妥当と考えられる。また、資金配分に応じた成果が達成され、妥当な管理がなされたと考えられる。

一方、一部のテーマでは目標が十分に達成できなかった点があり、プロジェクトリーダーの本研究開発への実質的な関与がどの程度可能だったのかは、目標設定、体制の環境を含め、検討・評価する余地があると思われる。

また、資金配分に関し、共通基盤技術研究開発で3つのテーマに分けられているが、特に硬磁性・ナノ構造部材技術に大きな資金配分が行われており、これが研究開発構成上最適だったのか、疑問も残る。併せて、中間評価において期待されていた実用化技術研究開発について、より事業化を加速するための体制作りや資金投入などの配慮がもう少しなされても良かったような印象も受ける。

【肯定的意見】

- ・研究開発計画の策定とその実施は、東北大学金属材料研究所とRIMCOFの強いリーダーシップのもと行われ、我が国ではこれ以上ない体制であったと評価される。また、金属ガラスから非平衡結晶合金への転換やコネクタ応用への早期の見切りつけなど、研究成果や費用対効果の最大化に向け、極めて臨機応変かつ適切な対応がなされたことも高く評価される。
- ・富士通の研究開発離脱という事態に対し、昭和電工がきちんとした引き継ぎをした。このことが成果を上げるポイントになったと考えられる。
- ・期間と費用からみると、研究マネジメントは適切であった。また、研究開発の結果を踏まえて、実用化のアプローチを適切に調整している。
- ・研究開発計画および実施者やプロジェクトリーダーの選定は妥当であったと判断される。資金配分については、実用化技術研究開発にもう少し多く配分されても良かったような印象も受けるが、総体的には妥当であったと判断される。
- ・本事業の構成を共通基盤技術研究開発と実用化技術研究開発に分けてそれぞれ目標を設定し、実施した点は有効と判断される。また、連携も十分に図られており、評価できる。
- ・変化への対応や実施体制の適切な変更などを行い、全体として十分に対応している。
- ・実施体制も集中研を軸に展開されており、研究のマネジメントや効果的連携の観点から妥当と考えられる。

【問題点・改善すべき点】

- ・高強度・高導電性電気接点部材の開発は1年で断念することになった。お付き合い、

といった理由でただらと続けるよりもぱっと区切りをつけることは大事なことだと思われる。しかしやはり結果は残念であり、軌道修正を加え成果へと導く対応ができなかったものかと考える。

- ・ 実用化については、参加企業の事業戦略、技術アプローチに依存する。これは避けられないとすると、複数シナリオに基づいて、代替策を競わせ、変化へ対応できる研究アプローチをとることが適切であったように推察する。
- ・ 「共通基盤技術研究開発」側と「実用化技術研究開発」側との連携がより緊密であれば、さらに効果的な進展が可能となったと思われる。但し事業仕分けによりスキームの変更を余儀なくされた点などを考慮すれば、致し方ない面もあったと思われる。
- ・ 一部のテーマ（実用化技術研究開発の高強度・高導電性電気接点部材の開発）では目標が十分に達成できなかった点があり、設定目標が適切だったのかも含め、問題点を明確にすることが望まれる。また、プロジェクトリーダーの本研究への実質的な関与がどの程度可能だったのかは、体制の環境を含め、検討・評価する余地があると思われる。
- ・ 資金配分に関し、共通基盤研究で3つのテーマに分けられているが、特に硬磁性・ナノ構造部材技術に大きな資金配分が行われており、これが研究構成上最適だったのかは十分に判断できず、疑問も残る。

6. 総合評価

本事業は、我が国の強みである金属材料分野の強化を図るものであり、科学技術分野における国際競争力の維持という面からも重要な課題と言え、また十分な成果が得られたと評価できる。3つの検討対象（次世代高密度磁気記録媒体、超微小モータ用部材、高強度・高導電性電気接点部材）それぞれについて、設定した目標が達成されていると判断される。

なお、我が国が技術シーズを有する金属ガラスの保護という観点からは、本事業で選定された3つの実用化技術研究開発以外にも他の部材や製品への応用可能性の調査とその実用化を想定したシナリオ研究を並行実施すべきであったと考えられる。これにより、金属ガラスの有する材料ポテンシャルと成果波及効果をより一層大きくすることができたものと考えられ、本点は今後の新規支援事業などに期待される。

【肯定的意見】

- ・特徴的な性質を有する金属ガラスをさらに複合化することによって、新たな可能性を見出し、また、特に機能性材料分野への適用にチャレンジする点で画期的である。
- ・達成すべき目標を明確に設定し、中堅企業も参画可能な体制を整えて実施した点は評価できる。
- ・本事業は、我が国の強みである金属材料分野の強化を図るものであり、科学技術分野における国際競争力の維持という面からも重要な課題と言え、また十分な成果が得られたと評価できる。3つの検討対象（次世代高密度磁気記録媒体、超微小モータ用部材、高強度・高導電性電気接点部材）それぞれについて、設定した目標が達成されていると判断される。
- ・基盤技術研究開発での合金開発に見られるように、開発技術が常に世界を先導していることにとどまらず、実用化技術研究開発を含めて産学連携体制が構築されており、国際競争力強化に資する成果が創出されている。
- ・日本初の有意な基礎的技術を実用技術にまで引き上げていく研究開発支援は重要だと考える。
- ・本事業は、我が国が技術シーズを有し世界を先導する金属ガラスの一層の機能強化と応用技術開発をその事業目的に位置付け、ナノテクノロジー・材料分野と素形材産業分野の融合による革新的な新規材料製造技術研究開発とその実用化という国が主導すべき政策を遂行した一課題と考えられる。従い、本事業の目的・内容と得られた成果は高く評価される。

【問題点・改善すべき点】

- ・目標達成において、なぜ金属ガラスなのか、また、要求特性に対して金属ガラスのどのような点が有用・必須であるのか説明が明確でない点もある。また、なぜ金属ガラ

スの「複合化」が必要なのか、そもそも複合化とはどのようなことを考えているのかをもっと明確化すべきだったと思われる。特に、実用化を想定した上での複合化のあり方を実用化技術研究開発ではもっと検討すべきだったと思われる。

- ・他の素材や競合手法などとの比較において、金属ガラスの優位性をもっと強調するとよいと思われる。
- ・資金配分において、特定のテーマが重視されているが、これが最適であるとする合理的に説明があるとよい。
- ・共通基盤技術研究開発と実用化技術研究開発の連携がより明確にわかるように示されていればなおよかった。
- ・共通基盤技術研究開発を経て実用化技術研究開発に挑戦するプロセスにおいて、1年で成否が見極められてしまったことは残念である。何らかの教訓を導き出し、今後の事業に活かしてもらいたい。
- ・我が国が技術シーズを有する金属ガラスの保護という観点からは、本事業で選定された3つの実用化技術研究開発以外にも他の部材や製品への応用可能性の調査とその実用化を想定したシナリオ研究を並行実施すべきであったと考えられる。これにより、金属ガラスの有する材料ポテンシャルと成果波及効果をより一層大きくすることができたものと考えられ、本点は今後の新規支援事業などに期待される。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

実用化や事業化を視野に入れた、代替的なアプローチを含めた体系的な思考にもとづく研究開発事業を再考する必要がある、全体的なシステムにおける位置付けを明確にして、目標を設定することで、実用化への有効性を明らかにできると思料する。研究開発事業の実施に当たっては、産業界のニーズを見越した中堅・中小企業を交ぜ領域横断的な研究開発アプローチで進める方向が望ましく、研究開発事業で開発された高度な技術を如何に高スループットかつ安価に提供できるか、といった生産技術面の検討が重要と思われる。特に、実用化技術研究開発においては、医療や環境、エネルギーといった成長性の高い分野にアプローチするよう政策誘導してもらいたい。

研究開発事業が長期にわたる場合は、必ずしも期初の目標にこだわることなく、各種の評価を経て、市場の変化に柔軟に対応することが必要であると考え。また、実用化に求められる資金やマンパワー等資金配分も含め道筋を立て変化に柔軟に対応することが肝要である。

【各委員の提言】

- ・実用化や事業化を視野に入れた場合、代替的なアプローチを含めた体系的な思考にもとづいて研究開発を再考する必要がある。例えば、HDD高密度化でいえば、データセンターでのストレージ消費電力抑制、運用コスト抑制、大量のコンテンツの2次保存媒体として需要が望まれる一方、記録方式には今回のBPM方式のほかに、TAMR(熱アシスト記録)、MAMR(マイクロ波アシスト記録)、SMR(瓦記録/シングル磁気記録)などがあり、さらにその複合化した方式がある。そして、HDD自体も、次世代高密度記録媒体として、SSDなどとのすみわけがある。また高密度記録媒体に関連する技術(回転数の高速化、再生・記録ヘッド、信頼性向上、大量生産)などと併せ、全体的なシステムにおける位置付けを明確にして、目標を設定することで、実用化への有効性を明らかにできると思料する。今後同様なプロジェクトの実施に当たっては、領域横断的な研究開発アプローチで進める方向が望ましい。
- ・本事業はバルク金属ガラスあるいは磁性材料といった、我が国が伝統的に独創性を発揮し世界を先導してきた分野であるが、近年は諸外国において関連の国家プロジェクトが多数進行し、追い上げが著しい。このような状況下に実施された本事業は時宣を得たものであり、また多くの成果が挙げたことが示されている点は高く評価される。今後は、これらの成果に立脚した実用化・事業化を推進することとなるが、検討対象とした3分野はいずれも進展が著しいので、産業界のニーズを見越した展開が求められる。特に、生産性・コスト面の要求は厳しいものとなるため、本事業で開発された高度な材料を如何に高スループットかつ安価に提供できるか、といった生産技術面の検討が重要と思われる。また、次の研究開発の目標としては、本

事業自体は金属ガラスにフォーカスしたものであるが、その特徴を活かしながら、他の素材とより積極的に複合化させ、さらなる高度化を図るアプローチも重要と思われる。この場合、複合材料全体として最大の特性が得られるよう、トータルで最適化を図っていくことが求められるため、異種材料の専門家との緊密な連携も進めていくことが期待される。さらに、今回対象とした3分野以外にも有効な適用の可能性があると考えられるので、種々の対象への積極的な展開も検討することが期待される。

- ・素材や部品といった分野は地味ではあるが、日本がモノづくり立国として競争力を高めていく上で重要である。引き続き政策の重点に位置付けていてもらいたい。コアになる技術が日本発、という事実は大きな競争力になりえる。こうした素養の良い技術を発展させる政策を続けてもらいたい。民間の参加者に中堅・中小企業を交ぜ、成長の加速や研究開発型の企業が育つプロジェクトを実施してほしい。実用技術の研究については、医療や環境、エネルギーといった成長性の高い分野にアプローチするよう政策誘導してもらいたい。新聞などを成果の発信メディアとして積極的に活用してほしい。
- ・金属ガラスを活用し、複合化するという新たな視点で基盤技術研究開発を行い、併せて、実用化の研究開発を進めた本事業の目的は画期的であるといえる。また、集中研をベースに基盤技術研究開発と実用化技術研究開発とが相互に効果的に連携し、遂行する体制も十分に評価できる。成果としても、基盤技術研究開発等で新たな学術的・技術的成果が得られており、これらも評価できる。中間評価でも指摘されていることであるが、後半においては、特に実用化を想定し、実用化を目指す研究開発が強く求められている。この結果、3テーマについて十分に目標を達成し、実用化に向けた展開が今後期待される成果が得られており、この点は高く評価できる。しかしながら、実用化・事業化の観点からは、たとえば、安定的に製造するプロセスの構築、製造コストなどの点でまだ課題も残されている。さらに、目標達成に至らなかったテーマもあり、実用化技術研究開発の点はやや十分でない点が認められる。これについては、金属ガラスのどのような特性を活用すべきか、また、複合化する上では何を重視すべきか、などについてさらに突っ込んだ検討が求められる。また、実用化で求められる様々な特性の評価も十分に行う必要がある。すなわち、基盤技術研究開発そのものは優れていると評価されるが、実用化技術研究開発については新たな課題も見出されたと考えられる。そのために基盤技術研究開発も含め、実用化技術研究開発として今後発展させるための課題を改めて整理し、克服する方策の構築が求められる。また、本事業の資金配分も含め、実用化技術研究開発に求められる資金やマンパワーはどうかなどの道筋を立てることが肝要である。
- ・産学連携でプロジェクトが推進された絶好の例として広く世の中に紹介されるべきものである。さらに基盤技術開発研究から実用化技術開発研究にいたるまで、トータル

技術として取組んだ姿勢は大いに評価できる。一方で、開発研究が長期にわたる場合は、必ずしも期初の目標にこだわることなく、各種の評価を経て、市場の変化に柔軟に対応することが必要であると考え。

- ・我が国が技術シーズを有する金属ガラスの実用化研究開発の加速という視点からは、本事業で選定された3つの実用化技術研究開発以外にも他の部材や製品への応用可能性の調査並びにその実用化を想定並びに試算したシナリオの研究も並行すべきであったと考えられる。これにより、金属ガラスの有する材料ポテンシャルと未開拓の成果波及効果を、より一層大きくすることができたと考えられる。従い本点は今後の新規支援事業などに期待され、研究開発従事者にとっては、本事業以外の応用部材の開拓を産学一体の体制で、今後もより一層推進すべきと考えられる。本点以外の部分は、全ての点において、高い評価が与えられるものと考えられる。

第4章 評点法による評点結果

第4章 評点法による評点結果

「高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発」に係るプロジェクト評価の実施に併せて、以下に基づき、本評価検討会委員による「評点法による評価」を実施した。その結果は「3. 評点結果」のとおりである。

1. 趣 旨

評点法による評価については、産業技術審議会評価部会の下で平成 11 年度に評価を行った研究開発事業（39 プロジェクト）について「試行」を行い、本格的導入の是非について評価部会において検討を行ってきたところである。その結果、第 9 回評価部会（平成 12 年 5 月 12 日開催）において、評価手法としての評点法について、

(1) 数値での提示は評価結果の全体的傾向の把握に有効である、

(2) 個々のプロジェクト毎に評価者は異なっても相対評価はある程度可能である、との判断がなされ、これを受けて今後のプロジェクト評価において評点法による評価を行っていくことが確認されている。

また、平成 21 年 3 月 31 日に改定された「経済産業省技術評価指針」においても、プロジェクト評価の実施に当たって、評点法の活用による評価の定量化を行うことが規定されている。

これらを踏まえ、プロジェクトの中間・事後評価においては、

(1) 評価結果をできる限りわかりやすく提示すること、

(2) プロジェクト間の相対評価がある程度可能となるようにすること、

を目的として、評価委員全員による評点法による評価を実施することとする。

本評点法は、各評価委員の概括的な判断に基づき点数による評価を行うもので、評価報告書を取りまとめる際の議論の参考に供するとともに、それ自体評価報告書を補足する資料とする。また、評点法は研究開発制度評価にも活用する。

2. 評価方法

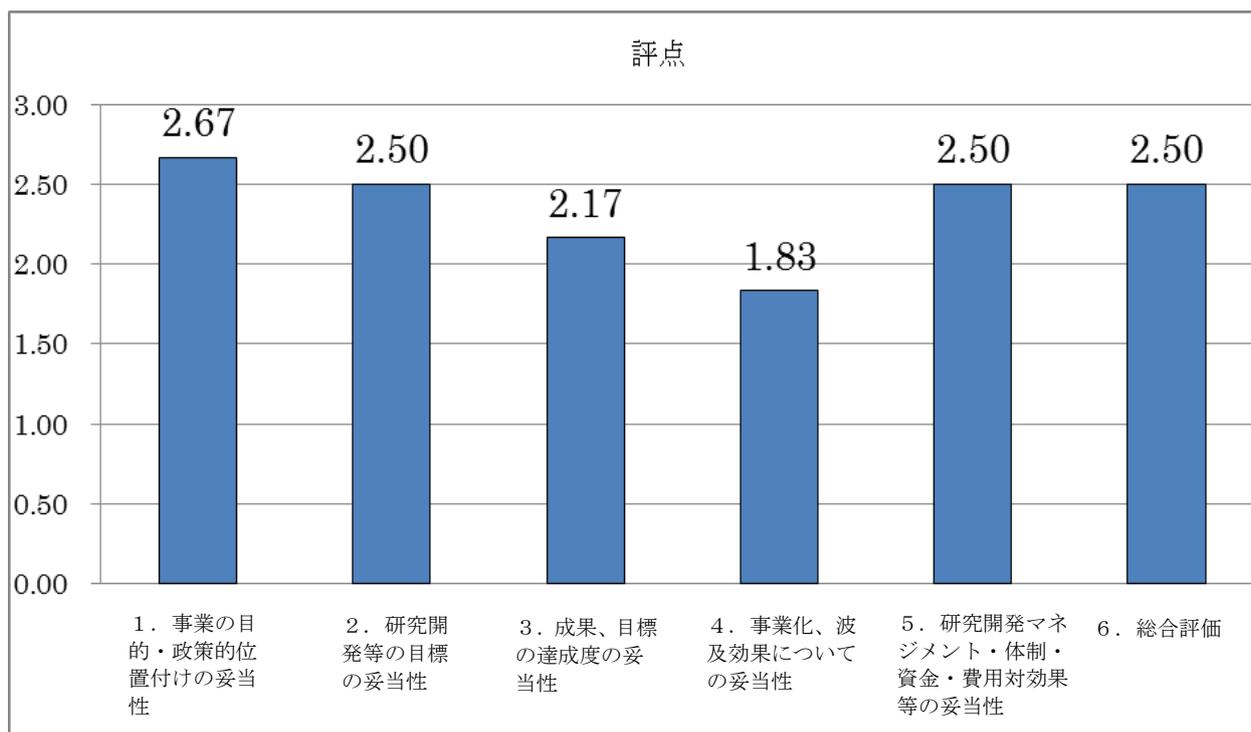
- ・各項目ごとに4段階（A（優）、B（良）、C（可）、D（不可）〈a, b, c, dも同様〉）で評価する。
- ・4段階はそれぞれ、A（a）= 3点、B（b）= 2点、C（c）= 1点、D（d）= 0点に該当する。
- ・評価シートの記入に際しては、評価シートの《判定基準》に示された基準を参照し、該当と思われる段階に○を付ける。
- ・大項目（A, B, C, D）及び小項目（a, b, c, d）は、それぞれ別に評点を付ける。
- ・総合評価は、各項目の評点とは別に、プロジェクト全体に総合点を付ける。

3. 評点結果

評点法による評点結果

(高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員	F 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	2.67	3	3	2	2	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.50	3	3	2	2	3	2
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.17	2	3	2	2	2	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	1.83	2	2	1	1	3	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.50	3	3	2	2	3	2
6. 総合評価	2.50	3	3	2	2	3	2



第5章 評価ワーキンググループのコメント 及びコメントに対する対処方針

第5章 評価ワーキンググループのコメント及びコメントに対する 対処方針

高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発プロジェクトに係る評価ワーキンググループのコメント及びコメントに対する推進課の対象方針は、以下のとおり。

(事業化、波及効果についての妥当性)

研究開発成果を特許ではなく主としてノウハウとして秘匿・管理するのであれば、ノウハウの管理の方法が重要となる。事業終了に当たっては、今後の移転等に際して支障が生じないような適切な方法で、ノウハウを含めて知的財産を管理する必要がある。また、本プロジェクト終了後も研究開発を継続している事業者がいるので、今後の事業化の進展や波及効果の把握等について追跡して調査を行うべきである。

対処方針

ご指摘の点を踏まえ、知的財産権の管理については、委託先において最適な方法でなされるよう、指導して参りたい。

また、プロジェクト終了後の事業化の進展等については、引き続き委託先のフォローアップをしてまいりたい。

經濟產業省技術評価指針

平成 2 1 年 3 月 3 1 日

目次

経済産業省技術評価指針の位置付け	1
I. 評価の基本的考え方	4
1. 評価目的	4
2. 評価の基本理念	4
3. 指針の適用範囲	5
4. 評価の類型・階層構造及びリンクージ	5
5. 評価方法等	5
6. 評価結果の取扱い等	6
7. 評価システムの不断の見直し	7
8. 評価体制の充実	7
9. 評価データベース等の整備	7
10. 評価における留意事項	7
II. 評価の類型と実施方法	9
II. 1. 技術に関する施策評価	9
(1) 事前評価	9
(2) 中間・終了時評価	9
II. 2. 技術に関する事業評価	10
II. 2. 1. 研究開発制度評価	10
(1) 事前評価	10
(2) 中間・終了時評価	10
II. 2. 2. プロジェクト評価	11
(1) 事前評価	11
(2) 中間・終了時評価	11
II. 2. 3. 競争的資金制度による研究課題に関する評価	12
(1) 事前評価	12
(2) 中間・終了時評価	13
II. 3. 追跡評価	14

経済産業省技術評価指針の位置付け

経済産業省技術評価指針（以下、「本指針」という。）は、経済産業省が、経済産業省における技術に関する施策及び技術に関する事業（以下、「技術に関する施策・事業」という。）の評価を行うに当たって配慮しなければならない事項を取りまとめたガイドラインである。

本指針は、「産業技術力強化法」（平成12年法律第44号）第10条の規定、「科学技術基本計画」（平成18年3月閣議決定）、「研究開発システムの改革の推進等による研究開発能力の強化及び研究開発等の効率的推進等に関する法律」（平成20年法律第63号）第34条の規定及び「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成20年10月内閣総理大臣決定）（以下、「大綱的指針」という。）に沿った適切な評価を遂行するための方法を示す。

同時に、「行政機関が行う政策の評価に関する法律」（平成13年法律第86号）（以下、「政策評価法」という。）に基づく「経済産業省政策評価基本計画」（以下、「政策評価基本計画」という。）に沿った、経済産業省政策評価のうち研究開発に関する部分の実施要領としての性格を持つ。したがって、技術に関する施策・事業についての評価の結果は、政策評価基本計画に基づき実施される事前評価及び事後評価に適切に反映・活用を図る。

技術評価は、政策評価法上要請される評価を含め政策評価の一環としての位置付けを有することから、本指針は、技術に関する施策・事業の成果や実績等を厳正に評価し、それを後の技術に関する施策・事業の企画立案等に反映させる政策サイクルの一角としての評価の在り方について定めるものである。

ただし、技術に関する施策・事業に係る評価は、競争的資金制度による研究課題、プロジェクトといった研究開発の内容や性格、実施体制等の態様に応じた評価方法に拠るべきであるとともに、評価の厳正さと効率性を両立するためには、評価をとりまく様々な状況に応じた臨機応変な評価手順を設定する必要がある。さらに、評価手法は日進月歩であり、今後よりよい評価手法が提案されることも十分考えられる。したがって、本指針では共通的なルール及び配慮事項を取り上げることとし、より詳細な実施のプロトコルは評価マニュアルの作成等により記述することで、機動的な実施を図ることとする。

研究開発機関が自ら実施する評価をその機関の自己改革の契機とするような自律的なシステムの構築に努め、研究開発を実施する独立行政法人が、大綱的指針及び本指針に沿って、研究開発評価の実施に関する事項について、明確なルールを定め、研究開発評価の実施及び評価結果の活用が適切かつ責任を持って行われるよう、所管官庁としての責務を果たすものとする。

◎本指針における用語については、次に定めるところによる。

- ・競争的資金制度：資金を配分する主体が、広く一般の研究者（研究開発に従事している者又はそれらの者から構成されるグループをいう。）、企業等又は特定の研究者、企業等を対象に、特定の研究開発領域を定め、又は特定の研究開発領域を定めずに研究課題を募り、研究者、企業等から提案された研究課題の中から、当該課題が属する分野の専門家（当該分野での研究開発に従事した経験を有する者をいう。）を含む複数の者による、研究開発の着想の独創性、研究開発成果の先導性、研究開発手法の斬新性その他の科学的・技術評価又は経済的・社会的評価に基づき、実施する課題を採択し、当該課題の研究開発を実施する研究者等又は研究者等が属する組織若しくは企業等に資金を配分する制度をいう。
- ・研究開発制度：資源配分主体が研究課題を募り、提案された課題の中から採択した課題に研究開発資金を配分する制度をいう。
- ・プロジェクト：具体的に研究開発を行う個別の実施単位であり、明確な目的や目標に沿って実施されるものをいう。研究開発制度（競争的資金制度を含む）による研究課題は、本指針上プロジェクトには該当しない。
- ・研究開発機関：国からの出資、補助等の交付を受けて研究開発を実施し、又は研究開発の運営管理を行う機関をいう。
- ・技術に関する事業：具体的に研究開発を行う個別の実施単位をいい、「研究開発制度（競争的資金制度を含む）」、「プロジェクト」及び「競争的資金制度による研究課題」により構成される。
- ・技術に関する施策：同一又は類似の目的を有する技術に関する事業のまとまりをいい、当該目的との関係で必要な研究開発以外の要素（調査等）を含む場合がある。
- ・政策評価書：本指針において用いる「政策評価書」とは経済産業省政策評価実施要領を踏まえた評価書をいう。
- ・政策サイクル：政策の企画立案・実施・評価・改善（plan-do-check-action）の循環過程をいう。
- ・評価システム：評価目的、評価時期、評価対象、評価方法等、評価に係るあらゆる概念、要素を包含した評価制度、体制の全体をいう。
- ・推進課：技術に関する事業を推進する課室（研究開発担当課室）をいう。推進課は、評価結果を反映させるよう努力する義務がある。
- ・主管課：技術に関する施策の企画立案を主管する課室及び予算等の要求事項を主管する課室をいう。
- ・査定課：予算等の査定を行う課室（大臣官房会計課、資源エネルギー庁総合政策課等）をいう。
- ・有識者等：評価対象となる技術に関する施策・事業について知見を有する者及び研究開発成果の経済的・社会的意義につき指摘できる人材（マスコミ、ユーザ、人文・社会学者、投資家等）をいう。
- ・外部評価者：経済産業省に属さない外部の有識者等であって、評価対象となる技術に関する施策・事業の推進に携わっていない者をいう。
- ・外部評価：外部評価者による評価をいい、評価コメントのとりまとめ方法としてパネルレビュー

(評価者からなる委員会を設置(インターネット等を利用した電子会議を含む。)して評価を行う形態)による場合とメールレビュー(評価者に対して郵便・FAX・電子メール等の手段を利用して情報を提供し、評価を行う形態)による場合とがある。

- 評価事務局：技術に関する施策・事業の評価の事務局となる部署をいい、評価者の行う評価の取りまとめ責任を負う。
- 評価者：評価の責任主体をいい、パネルレビューによる場合には外部評価者からなる委員会が責任主体となる。また、評価の結果を踏まえて、資源配分の停止や変更、技術に関する施策・事業の内容の変更に責任を有するのは企画立案部門である技術に関する施策・事業の推進課及び主管課である。
- 終了時評価：事業終了時に行う評価であり、事業が終了する前の適切な時期に行う終了前評価と事業の終了直後に行う事後評価がある。

I. 評価の基本的考え方

1. 評価目的

(1) より良い政策・施策への反映

評価を適切かつ公正に行うことにより、研究者の創造性が十分に発揮されるような、柔軟かつ競争的で開かれた研究開発環境の創出など、より良い政策・施策の形成等につなげること。

(2) より効率的・効果的な研究開発の実施

評価を支援的に行うことにより、研究開発の前進や質の向上、独創的で有望な優れた研究開発や研究者の発掘、研究者の意欲の向上など、研究開発を効果的・効率的に推進すること。

(3) 国民への技術に関する施策・事業の開示

高度かつ専門的な内容を含む技術に関する施策・事業の意義や内容について、一般国民にわかりやすく開示すること。

(4) 資源の重点的・効率的配分への反映

評価の結果を技術に関する施策・事業の継続、拡大・縮小・中止など資源の配分へ反映させることにより資源の重点化及び効率化を促進すること。また、研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等通じて次の段階に連続してつなげることなどにより、研究開発成果の国民・社会への還元効率化・迅速化に資すること。

2. 評価の基本理念

評価の実施に当たっては、以下の考え方を基本理念とする。

(1) 透明性の確保

推進課、主管課及び研究開発機関においては、積極的に成果を公開し、その内容について広く有識者等の意見を聴くこと。評価事務局においては、透明で公正な評価システムの形成、定着を図るため、評価手続、評価項目・評価基準を含めた評価システム全般についてあらかじめ明確に定め、これを公開することにより、評価システム自体を誰にも分かるものとするとともに、評価結果のみならず評価の過程についても可能な限り公開すること。

(2) 中立性の確保

評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価の導入等により、中立性の確保に努めること。

(3) 継続性の確保

技術に関する施策・事業においては、個々の評価がそれ自体意義を持つだけでなく、評価とそれを反映した技術に関する施策・事業の推進というプロセスを繰り返していく時系列のつながりにも意義がある。したがって、推進課及び主管課にとって評価結果を後の技術に関する施策・事業の企画立案等に反映させる際に有用な知見を抽出し、継続性のある評価方法で評価を行うこと。

(4) 実効性の確保

政策目的に照らし、効果的な技術に関する施策・事業が行われているか判断するための効率的評価が行われるよう、明確で実効性のある評価システムを確立・維持するとともに、技術に関する施策・事業の運営に支障が生じたり、評価者及び被評価者双方に過重な負担をかけるこ

とのない費用対効果の高い評価を行うこと。

3. 指針の適用範囲

- (1) 本指針においては、多面的・階層的な評価を行う観点から、経済産業省における具体的に研究開発を行う個別の実施単位である研究開発制度、プロジェクト及び競争的資金制度による研究課題である技術に関する事業並びに同一又は類似の目的を有する技術に関する事業のまとめである技術に関する施策を評価対象とする。
- (2) 国費の支出を受けて技術に関する事業を実施する民間機関、公設試験研究機関等の評価については、当該事業の評価の際等に、これら機関における当該事業の研究開発体制に関わる運営面に関し、国費の効果的・効率的執行を確保する観点から、必要な範囲で評価を行う。
- (3) 上記(2)の規定にかかわらず、独立行政法人が運営費交付金により自ら実施し、又は運営管理する技術に関する事業については、独立行政法人通則法（平成11年法律第103号）及び大綱的指針に基づいて実施されるものであり、本指針の対象としない。なお、技術に関する施策には、これら事業は含まれるものとする。
- (4) 評価の種類としてはこの他に研究者等の業績の評価が存在するが、これは研究開発機関の長が評価のためのルールを整備した上で、責任を持って実施することが基本であり、本指針の対象としない。

4. 評価の類型・階層構造及びリンケージ

(1) 実施時期による類型

評価はその実施時期により、事前評価、中間・終了時評価及び追跡評価に類型化される。

(2) 評価の階層構造

経済産業省における技術評価では、技術に関する施策・事業での評価を基本的な評価単位とするが、政策効果をあげるために、特に必要があると認められるときには、関連する複数の技術に関する施策・事業が有機的に連携をとって

体系的に政策効果をあげているかを評価することとする（これは経済産業省政策評価実施要領における「政策体系評価」に対応するものと位置付ける。）。

(3) 実施時期による評価のリンケージ

中間・終了時評価は、技術に関する施策・事業の達成状況や社会経済情勢の変化を判断し、計画の見直しや後継事業への展開等の是非を判断するものである。また、事前評価での予想が実際にどのような結果となったか、予算措置は妥当であったか等を確認することにより、事前評価の方法を検証し得るものである。したがって、中間・終了時評価の結果をその後の産業技術政策・戦略の企画立案や、より効果的な事前評価の評価手法の確立に反映させるよう努めるものとする。

また、中間・終了時評価の結果は、追跡評価にて検証されるものである。

5. 評価方法等

厳正な評価を行うためには、評価方法、評価項目等に客観性を持たせることが必要であること

から、本指針をはじめ評価実施に係る諸規程等を整備の上、公開するものとする。

技術評価室は本指針を踏まえ、評価マニュアル等を策定するとともに、円滑な評価の実施のための指導及び評価システムの維持管理を行う。

(1) 施策原簿

技術に関する施策の基本実施計画書、政策評価書等をもって施策原簿とする。施策原簿を作成・改定した場合は、速やかにその写しを技術評価室へ提出する。

(2) 事業原簿

技術に関する事業の基本実施計画書、政策評価書等をもって事業原簿とする。研究開発制度及びプロジェクトの事業原簿を作成・改定した場合は、速やかにその写しを技術評価室へ提出する。

(3) 評価項目・評価基準

評価の類型及び技術に関する施策・事業の態様等に応じて標準的な評価項目・評価基準を技術評価室が別に定めることとする。

(4) 評価手続・評価手法

評価の類型に応じて適切な評価手法を用いるものとする。なお、複数の事業間の相対的評価を行う場合等においては、評点法の活用が有効と考えられ、評価の類型及び対象案件の態様に応じ適宜活用することが望ましい。

(5) 評価の簡略化

評価の実施に当たっては、評価コストや被評価者側の過重な負担を回避するため、評価対象となる事業に係る予算額が比較的少額である場合には、評価項目を限定する等の簡略化を行うことができるものとする。なお、簡略化の標準的な方法については技術評価室が別に定める。

6. 評価結果の取扱い等

(1) 評価結果の取扱い

評価事務局は、評価終了後速やかに評価書の写しを技術評価室に提出する。技術評価室は全ての評価結果について、これまでに実施された関連調査及び評価の結果、評価の実施状況等を踏まえつつ意見をまとめ、査定課、秘書課及び政策評価広報課に報告することができる。

(2) 予算査定との関係

査定課は、技術評価室から事前評価及び中間評価の評価書の提出を受けた場合は、技術評価室の意見を踏まえつつ技術に関する施策・事業の評価等を行う。事前評価に関しては査定課の評価を終えた事前評価書に記載された技術に関する施策・事業の内容をもって、推進課又は主管課と査定課との間の合意事項とみなし、査定課はこれを踏まえて予算査定を行う。中間評価に関しては、査定課は中間評価結果を踏まえて予算査定を行う。

(3) 評価結果等の公開の在り方

評価結果及びこれに基づいて講ずる又は講じた措置については、機密の保持が必要な場合を除き、個人情報や企業秘密の保護、知的財産権の取得等に配慮しつつ、一般に公開することとする。なお、事前評価については、政策立案過程の透明化を図る観点から、評価事務局は予算が経済産業省の案として確定した後に、公開するものとする。パネルレビューを行う場合にお

ける議事録の公開、委員会の公開等については、「審議会等の透明化、見直し等について」（平成7年9月閣議決定）に準じて行うものとする。

7. 評価システムの不断の見直し

いかなる評価システムにおいても、評価は評価者の主観的判断によってなされるものであり、その限りにおいては、完璧な客観性、公平性を求めることは困難である。したがって、評価作業が終了するたびごとにその評価方法を点検し、より精度の高いものとしていく努力が必要である。また、本指針については、こうした一連の作業を踏まえ、原則として毎年度見直しの要否を検討する。

8. 評価体制の充実

評価体制の充実を図るため、研究者の評価者としての活用などにより評価業務に携わる人材を育成・確保するとともに、研究開発費の一部を評価費用に充てるなど評価に必要な資源を確保する。

9. 評価データベース等の整備

技術評価室は、国内外の適切な評価者を選任できるようにするため、及び個々の評価において普遍性・信頼性の高い評価を実現するため、個々の技術に関する施策・事業についての研究者、資金、成果、評価者、評価結果等をまとめたデータベースを整備する。

また、競争的資金制度による研究課題に関する評価など、審査業務等を高度化・効率化するために必要な電子システムの導入も促進する。

10. 評価における留意事項

(1) 評価者と被評価者との対等性

① 評価者と被評価者との関係

評価作業を効果的に機能させるためには、評価者と被評価者の双方が積極的にその知見と情報を提供し合うという協調的関係と、評価者もその評価能力を評価されるという意味で評価者と被評価者とが相互に相手进行评估するという緊張関係とを構築し、この中で、討論を行い、評価を確定していく必要がある。

この際、評価者は、不十分な成果等被評価者が自ら進んで提示しない事実があるかどうかを見極める能力が要求される。一方、被評価者は、評価対象の技術に関する施策・事業の位置付けを明確に認識するとともに、評価結果を正確に理解し、確実にその後の技術に関する施策・事業の創設、運営等に反映させていくものとする。

② 評価者に係る留意事項

研究者が評価者となる場合、評価者は、評価作業を評価者自らの研究を妨げるものとして捉えるべきではなく、自らの研究の刺激になる行為として、積極的に取り組むことが必要である。

また、研究開発成果を、イノベーションを通じて国民・社会に迅速に還元していく観点から、産業界の専門家等を積極的に評価者に選任する。

③ 被評価者に係る留意事項

被評価者は、評価を事業の質をより高めるものとして積極的に捉え、評価は評価者と被評価者の双方の共同作業であるとの認識の下、真摯な対応を図ることが必要である。

(2) 評価の不確実性

評価時点では見通し得なかった技術、社会情勢の変化が将来的に発生し得るという点で評価作業は常に不確実性を伴うものである。したがって、評価者は評価の精度の向上には、必然的に限界があることを認識した上で、評価時点で最良と考えられる評価手法をとるよう努めることが必要である。かかる観点からは、厳正さを追求するあまりネガティブな面のみを過度に減点法で評価を行うこととなると、将来大きな発展をもたらす技術を阻害するおそれがある点にも留意する必要がある。

また、成果に係る評価において、目標の達成度合いを評価の判定基準にすることが原則であるが、併せて、副次的成果等、次につながる成果を幅広い視野からとらえる。

(3) その他の留意事項

① 海外の研究者、若手研究者の活用

研究者には、研究開発の発展を図る上で専門的見地からの評価が重要な役割を果たすものであることから、評価者としての評価への積極的参加が求められる。一方、特定の研究者に評価実施の依頼が集中する場合には、評価への参加が大きな負担となり、また、評価者となる幅広い人材の養成確保にもつながらないことから、海外の研究者や若手研究者も評価者として積極的に参加させることなどにより評価者確保の対象について裾野の拡大を図るよう努める。

② 所期の成果を上げられなかった研究開発

研究開発は必ずしも成功するとは限らず、また、失敗から貴重な教訓が得られることもある。したがって、失敗した場合には、まずその原因を究明し、今後の研究開発にこれを生かすことが重要であり、成果を上げられなかったことをもって短絡的に従事した研究者や組織、機関を否定的に評価すべきものではない。また、評価が野心的な研究開発の実施の阻害要因とならないよう留意しなければならない。

③ 数値的指標の活用

論文の被引用度数、特許の申請状況等による成果の定量的評価は一定の客観性を有するが、技術に関する施策・事業においては研究分野や内容により、その意味は大きく異なり得るものであり、必ずしも研究開発成果の価値を一義的に表すものではない。したがって、これらを参考資料として有効に活用しつつも、偏重しないよう留意すべきである。

④ 評価結果の制度間での相互活用

研究開発をその評価の結果に基づく適切な資源配分等を通じて次の段階の研究開発に連続してつなげるなどの観点から、関係府省、研究開発機関及び制度を越えて相互活用するよう努める。

⑤ 自己点検の活用

評価への被評価者等の主体的な取組を促進し、また、評価の効率的な実施を推進するため、推進課及び主管課は、自ら技術に関する施策・事業の計画段階において具体的かつ明確な目標とその達成状況の判定基準等を明示し、技術に関する施策・事業の開始後には目標の達成状況、

今後の発展見込み等の自己点検を行い、評価者はその内容の確認などを行うことにより評価を行う。

⑥ 評価の国際的な水準の向上

研究開発の国際化への対応に伴い、評価者として海外の専門家を参加させる、評価項目に国際的なベンチマーク等を積極的に取り入れるなど評価に関して、実施体制や実施方法などの全般にわたり、評価が国際的にも高い水準で実施されるよう取り組む。

II. 評価の種類と実施方法

II. 1. 技術に関する施策評価

技術に関する施策の評価は、当該技術分野全体の方向性等を勘案しつつ、当該施策の下に位置付けられる技術に関する事業のまとまりを俯瞰する形で、各事業の相互関係等に着目し、個々の事業に係る評価結果を踏まえて行う。

(1) 事前評価

新規の技術に関する施策の創設に当たって行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

外部評価を行う。

評価対象とする技術に関する施策は、技術評価室が推進課及び主管課と協議の上、定める。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

(2) 中間・終了時評価

技術に関する施策創設後、一定期間継続的に実施しているものについて、技術に関する施策ごとに中間・終了時評価を行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び主管課

③ 評価事務局

推進課及び主管課。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

施策原簿、成果報告、運営状況報告等を基に外部評価を行う。

評価対象とする技術に関する施策は、技術評価室が推進課及び主管課と協議の上、定める。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価については、実施が4年以上にわたる又は実施期間の定めのない技術に関する施策について3年程度ごとに定期的に行う。なお、モニタリング（進捗状況を把握する作業）については毎年行うこととする。

終了時評価については、当該技術に関する施策の成果を切れ目なく次の技術に関する施策につなげていく場合には、当該技術に関する施策が終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該技術に関する施策の終了直後に事後評価を行うものとする。

なお、中間・終了時評価は、効果的・効率的な評価の実施の観点から、技術に関する施策を構成する技術に関する事業の評価を前提として実施する。

II. 2. 技術に関する事業評価

II. 2. 1. 研究開発制度評価

研究開発制度評価は、個々にその目的・政策的位置付け、目標、成果、目標の達成度、必要性、効率性、有効性等について、事前評価及び中間・終了時評価を行う。

(1) 事前評価

新規の研究開発制度の創設に当たって行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課

③ 評価事務局

推進課

④ 評価手続・評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。研究開発制度について制度実施予定期間及び中間評価の時期の妥当性に関して評価する。

(2) 中間・終了時評価

研究開発制度創設後、一定期間継続的に実施しているものについて、研究開発制度ごとに中間・終了時評価を行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課及び研究開発機関

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関（独立行政法人であって、研究開発制度の推進部門から独立した評価部門が評価を行う場合に限る。）。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

事業原簿、研究開発制度から得られた成果、研究開発制度の運営状況等を基に外部評価を行う。また、必要に応じ、評点法の活用による評価の定量化を行うこととする。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価については、実施期間が5年以上の研究開発制度又は実施期間の定めのない研究開発制度については、その目的、内容、性格、規模等を考慮し、3年程度ごとに定期的に行う。なお、モニタリング（進捗状況を把握する作業）については毎年行うこととする。

終了時評価については、当該研究開発制度の成果を切れ目なく次の研究開発制度につなげていく場合には、当該研究開発制度が終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該研究開発制度終了直後に事後評価を行うものとする。

なお、中間・終了時評価は、効果的・効率的な評価の実施の観点から研究開発制度に関する評価結果の情報を集積し、関連する技術に関する施策の評価に際しその情報を提供する。

II. 2. 2. プロジェクト評価

プロジェクト評価は、個々にその目的・政策的位置付け、目標、成果、有効性、効率性等について評価を行う。事前評価及び中間・終了時評価を行う。

(1) 事前評価

新規のプロジェクトの創設に当たって行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課

③ 評価事務局

推進課

④ 評価手続・評価手法

外部評価を行う。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。プロジェクトについて実施予定期間及び中間評価の時期の妥当性に関して評価する。

(2) 中間・終了時評価

プロジェクト創設後、一定期間継続的に実施しているものについて、プロジェクトごとに中間・終了時評価を行う。

① 評価者

外部評価者

② 被評価者

推進課、研究開発機関及び実施者（研究開発機関から委託又は補助を受けてプロジェクトを実施する機関又は個人をいう。）

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関（独立行政法人であって、事業の推進部門から独立した評価部門が評価を行う場合に限る。）。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

事業原簿、成果報告、運営状況報告等を基に外部評価を行う。また、必要に応じ、評点法の活用による評価の定量化を行うこととする。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価は、実施期間が5年以上のプロジェクト又は実施期間の定めのないプロジェクトについては、その目的、内容、性格、規模等を考慮し、3年程度ごとに定期的に行う。なお、モニタリング（進捗状況を把握する作業）については毎年行うこととする。

終了時評価は、当該プロジェクトの成果を切れ目なく次のプロジェクトにつなげていく場合には、当該プロジェクトが終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該プロジェクト終了直後に事後評価を行うものとする。

なお、中間・終了時評価は、効果的・効率的な評価の実施の観点から個別プロジェクトに関する評価結果の情報を集積し、関連する技術に関する施策の評価に際しその情報を提供する。

II. 2. 3. 競争的資金制度による研究課題に関する評価

競争的資金制度に提案された個々の研究課題について、当該競争的資金制度の目的に照らして、目標・計画、科学的・技術的意義、実施体制、実用化の見通し等について評価を行う。複数の候補の中から優れた研究課題を採択するための事前評価及び目標の達成状況や成果の内容等を把握するための中間・終了時評価を行う。

(1) 事前評価

新規研究課題の採択時に行う。

① 評価者

外部評価者。

研究課題の採択の際、被評価者と同じ研究開発機関に所属する等の専門家は排除する必要があるため、例えば評価事務局はあらかじめ全評価者名を公表し、被評価者に対して申請時に利害関係者の存在を併せて書面にて宣誓することを求める等の措置を講ずる。また、評価者には秘密保持を義務付ける。

なお、評価者としてふさわしい者であることを示すため、評価者の業績又は実績について適切な時期にホームページ等で公開する。

② 被評価者

研究課題の提案者

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関

④ 評価手続・評価手法

研究課題の採択に当たっては、エフォート（一研究員の全研究活動時間のうち当該競争的資金制度による研究活動に充てる時間の割合をいう。）の明記を原則求める。また、被評価者と利害関係のない有識者等によるパネルレビュー又はメールレビューによる評価を行う。採択に当たっては、他の競争的資金制度による研究課題等との重複が生じないようにする。評価事務局は研究課題の提案者へ不採択の結果を通知する場合には、原則として評価項目別に詳細な評価内容を提示するとともに、不採択となった提案者からの問い合わせに応じるための環境を整備する。

なお、研究課題の評価に際しては、研究分野や当該競争的資金制度の趣旨を踏まえ、必要に応じて、主に業績が十分に定まらない若手研究者等について、マスキング評価の導入を図ることとする。主に中堅以上の研究者に関する研究者としての評価は、所属組織や機関のみに着目するのではなく、過去の実績を十分に考慮した評価とする。

また、研究者の研究遂行能力を示している過去の研究実績について、定量化を試みつつ、研究者としての評価を過去の実績を十分考慮して行った上で研究課題の採否を決定する。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。研究課題について実施予定期間及び中間評価の時期の妥当性に関して評価する。

(2) 中間・終了時評価

研究課題の目標達成度の把握とともに研究課題の継続、拡大・縮小、中止等の資源配分の判断、および必要に応じ被評価者に対する支援的助言を行うための評価。

① 評価者

外部評価者

なお、評価者としてふさわしい者であることを示すため、評価者の業績又は実績について適切な時期にホームページ等で公開する。

② 被評価者

研究課題の実施者

③ 評価事務局

推進課又は研究開発機関。ただし、必要に応じて技術評価室が行うこともできる。

④ 評価手続・評価手法

事業原簿、成果報告、運営状況報告等を基に外部評価を行う。

競争的資金制度による継続的な研究の必要性及びプロジェクトへの発展の可能性（主として技術シーズの創造を目的とする研究の場合に限る。）の有無が判断できる手法により評価を行う。

また、研究課題の終了時評価の結果については、採択された研究課題ごとに定量化されたも

のについては結果を公表する。

⑤ 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

⑥ 実施時期

中間評価については、実施期間が5年以上の研究課題又は実施期間の定めのない研究課題については、その目的、内容、性格、規模等を考慮し、3年程度ごとに定期的に行う。

終了時評価については、当該研究課題の成果を切れ目なく次の研究課題又はプロジェクト等につなげていく場合には、原則、当該研究課題が終了する前の適切な時期に終了前評価を行うこととし、その他の場合には、当該研究課題終了直後に事後評価を行う。

II. 3. 追跡評価

終了して数年経った技術に関する施策・事業を対象に、その研究開発活動や研究開発成果が産業、社会に及ぼした効果について調査し、その調査結果を基に現在の視点から総合的に評価を行う。

(1) 評価者

外部評価者

(2) 被評価者

評価対象となる技術に関する施策・事業及びこれに関連する技術に関する施策・事業に携わった推進課及び研究開発機関

(3) 評価事務局

推進課又は技術評価室

(4) 評価手続・評価手法

過去の事業原簿等の文献データ、関連部署・機関及びその他関係者等からの聞き取り調査等による情報を基にパネルレビュー又は第三者機関への委託による外部評価を行う。また、可能な限り定量的な評価に努める。

(5) 評価項目・評価基準

技術評価室が定める標準的な評価項目・評価基準又は評価者が定めるものとする。

(6) 実施時期

技術に関する施策・事業終了後、成果の産業社会への波及が見極められる時点とする。

(プロジェクトの抜粋)

経済産業省技術評価指針に基づく
標準的評価項目・評価基準

平成23年7月

経済産業省産業技術環境局

技術評価室

Ⅱ. 技術に関する事業評価

Ⅱ－１ プロジェクト評価

【事前評価】

1. 事業の目的・政策的位置付け

(1) 事業目的は妥当で、政策的位置付け（上位の施策における位置付け）は明確か。

(2) 官民の役割分担は適当か。

※ 事業目的の妥当性、政策的位置付けを技術戦略マップを用いて説明し、官民、国と地方公共団体、他省庁との役割分担についても記述すること。目標（目指す結果、効果）については、技術戦略マップのロードマップとの整合性を説明すること。

2. 研究開発目標の妥当性

①目標（目指す結果、効果）は、具体的かつ明確か。

②目標達成度を測定・判断することが容易な指標が設定されているか。

※ 事業の進捗を示す指標については、技術戦略マップのロードマップ、技術マップを参考に設定すること。

③最終目標に至るまでのマイルストーンとして戦略的に中間目標が立てられているか。

※ 事業の目指す結果、効果については、技術戦略マップのロードマップとの整合性をとったマイルストーンを設定すること。

④中間・事後評価時期が明確に設定されているか。

3. 有効性・効率性等

(1) 手段の適正性

①他の政策手段（事業を実施しない場合の影響を含む。）との比較検討において、提案する事業が最も優れている根拠が明確であるか。

②実施する事業が目的や目標の達成に役立つ根拠は明確か。

・目的達成のための妥当なスケジュール、予算となっているか。

・事業終了後の実用化や事業化のシナリオは明確になっているか。

※ 技術戦略マップの導入シナリオを用いて、研究開発事業と関連事業の関係を説明すること。

・研究開発実施者の事業体制・運営は適切かつ妥当であるか。

(2) 効果とコストに関する分析

・可能な限り、各選択肢についての社会的便益と社会的費用の比較（費用便益分析、費用効果分析、コスト分析等）が行われているか。定量的な評価が困難な場合

は、少なくとも、各々の想定される結果と長所・短所の定性的な比較に基づいて行う。

(3) 適切な受益者負担

- ・ 実用化、事業化のシナリオを踏まえて、事業者等が得る利益に応じて適切な負担を求める委託費や補助制度となっているか。

※知的基盤・標準整備等のための研究開発に特有の評価項目

- ・ 成果に公共性は見込まれているか。
- ・ 成果の公共性を担保するための措置が想定されているか、又は標準化した場合に得られる経済効果は十分にあるか。無差別に公開されるものであるか。
- ・ 公共財としての需要は見込まれているか。
- ・ 公共財整備のための技術を民間能力を活用して開発することの妥当性はあるか。
- ・ 成果を国際標準として提案する場合に、他国から賛同を得られる見通しはあるか。

【中間・事後評価】

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

- (1) 事業目的は妥当で、政策的位置付けは明確か。
 - ・ 事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）
 - ・ 事業の科学的・技術的意義（新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等）
 - ・ 社会的・経済的意義（実用性等）
- (2) 国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。
 - ・ 国民や社会のニーズに合っているか。
 - ・ 官民の役割分担は適切か。

2. 研究開発等の目標の妥当性

- (1) 研究開発等の目標は適切かつ妥当か。
 - ・ 目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準（基準値）が設定されているか。
 - ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

- (1) 成果は妥当か。
 - ・ 得られた成果は何か。
 - ・ 設定された目標以外に得られた成果はあるか。
 - ・ 共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。
- (2) 目標の達成度は妥当か。

- ・ 設定された目標の達成度（指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準（基準値）との比較）はどうか。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

- (1) 事業化については妥当か。
 - ・ 事業化の見通し（事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等）は立っているか。
- (2) 波及効果は妥当か。
 - ・ 成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
 - ・ 当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合、以下の評価項目・評価基準による。

4. 標準化等のシナリオ、波及効果の妥当性

- (1) 標準化等のシナリオは妥当か。
 - ・ J I S化や我が国主導の国際規格化等に向けた対応は図られているか。
- (2) 波及効果は妥当か。
 - ・ 成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
 - ・ 当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

- (1) 研究開発計画は適切かつ妥当か。
 - ・ 事業の目標を達成するために本計画は適切であったか（想定された課題への対応の妥当性）。
 - ・ 採択スケジュール等は妥当であったか。
 - ・ 選別過程は適切であったか。
 - ・ 採択された実施者は妥当であったか。
- (2) 研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。
 - ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
 - ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
 - ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
 - ・ 成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。
 - ・ 国民との科学・技術対話を効果的に実施したか、又は実施することとしているか。（ただし、公募要項に当該対話を実施することが明記されている研究開発で、3千万円以上の公的研究費の配分を受ける研究開発を実施する研究者等を対象とする。）ここで、国民との科学・技術対話とは、研究活動の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明する、未来への希望を抱かせる心の通った双方向

コミュニケーション活動をいう（「国民との科学・技術対話」の推進について（基本的取組方針）（平成 22 年 6 月 19 日））。

（3）資金配分は妥当か。

- ・資金の過不足はなかったか。
- ・資金の内部配分は妥当か。

（4）費用対効果等は妥当か。

- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
- ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。

（5）変化への対応は妥当か。

- ・社会経済情勢等周囲の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
- ・代替手段との比較を適切に行ったか。

6. 総合評価

「高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発」
中間評価報告書
(抜粋)

平成21年10月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

平成21年10月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 村田 成二 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、別添のとおり
評価結果について報告します。

目 次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-13
2. 1 複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術	
2. 2 複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術	
2. 3 複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術	
3. 評点結果	1-25
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1

はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発」の中間評価報告書であり、第18回研究評価委員会において設置された「高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発」（中間評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第23回研究評価委員会（平成21年10月29日）に諮り、確定されたものである。

平成21年10月
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

「高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発」

中間評価分科会委員名簿

(平成21年8月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	しもこうべ あきら 下河邊 明	東京工業大学 名誉教授
分科会長 代理	はっとり ただし 服部 正	兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 光応用・先端技術大講座 ナノマイクロシステム分野 教授
委員	あたか たつあき 安宅 龍明	オリンパス株式会社 新規中核事業企画本部 ヘルスケア事業開発部 企画グループ コーディネーター
	いしお しゅんじ 石尾 俊二	秋田大学 工学資源学部 材料工学科 教授
	きむら かおる 木村 薫	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻 教授
	たかだ じゅん 高田 潤	株式会社鉄鋼新聞社 編集局 鉄鋼部 記者
	ほんだ なおき 本多 直樹	東北工業大学 工学部 知能エレクトロニクス学科 教授

敬称略、五十音順

審議経過

● 第1回 分科会（平成21年8月12日）

公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明
6. プロジェクトの詳細説明
- 6.1 研究開発成果、実用化の見通しについて

非公開セッション

- 6.2 実用化の見通しについて
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

● 第23回研究評価委員会（平成21年10月29日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

金属ガラスという日本発の優れた材料を更に発展させ、世界をリードするために、複合化という視点を導入した本事業を実施することは、我が国として必要なものと評価する。また、プロジェクトリーダ及びサブリーダの強い指導力の下に中間目標が全て達成され、金属ガラスの材料としての優れたポテンシャルを複合化により更に高めることに成功している。

しかし、世界をリードするためには、特許出願がやや少なく、特に海外出願も考慮の上、特許戦略を強化して欲しい。また、最終目標の要求性能には不明な個所があり、必要性能と目標値の明確化が望まれる。

ここまでの共通基盤技術研究では、ある程度の成果を上げてきており、今後の2年間の実用化研究がプロジェクト全体の成否を決めるとも言える。

2) 今後に対する提言

産学の連携体制が構築されており、基礎グループと実用化グループの間の更なる連携の緊密化によって、研究開発の一層の深化が期待できる。

本プロジェクトの実用化分野は、技術革新のスピードが速い上、ニーズの変化も激しい。プロジェクト推進中であっても、実用化イメージ、目標の見直し等にあたっては、市場変化に柔軟に対応することが必要であろう。場合によっては、当初の計画に縛られず、応用の見通しが得られた技術の研究開発に注力しても良いであろう。

実用化への課題は製品コストであり、特に材料から製品までを考慮した製造技術(トータルプロセス)から見た研究開発を心がけて欲しい。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

金属ガラスという日本発の優れた材料を更に発展させ、世界をリードするために、複合化という視点を導入した本事業を実施することは、我が国として必要なものと評価する。また、実用化までには幾つものハードルを越えなければならず、基盤技術開発の段階では個々の企業による継続的な研究開発が難しい面もあり、NEDO が関与することは極めて有効である。さらに、金属ガラスは非常にユニークな材料であって、多くの応用の可能性を持ち、本材料ならではの有用な応用を見出すことは、国際競争力強化の点からも極めて重要である。

しかし、具体的な応用については、戦略的・組織的な再検討も必要であろう。今後も、海外からの追い上げに対しては、日本発の技術として大切に育てて行く必要がある。

2) 研究開発マネジメントについて

金属ガラスの第一人者であるプロジェクトリーダーの下で、効率的な実施体制が整えられており、心強い。プロジェクトリーダー及びサブリーダーは、他に適任者がいないと判断される。また、基礎研究を行う大学の研究者と実用化を行う企業の開発者が、上手く連携している。さらに、研究開発の目標及び計画は妥当であり、基礎的な研究の成果を更に生かせる可能性がある。

しかし、ユーザーとの連携は、十分に取れているかが明らかになっていない。また、実用化研究参加企業が HDD (ハードディスクドライブ) 事業から撤退し、企業の入れ替えがあったが、メディアメーカーだけでなく、HDD システムのメーカーにも参加を求めて欲しい。さらに、最終目標達成に向けては、必要な要素技術の見直しも望まれる。

3) 研究開発成果について

ハードディスクの記録容量拡大や、内視鏡などの医療検査機器の高度化といった国民生活を豊かにする夢のある技術の研究開発・実用化を目指し、現状は基盤技術確立の段階だが、実用化の第一歩となる中間目標をクリアしたことは高く評価できる。また、個々の研究開発成果にはその分野で世界最高水準のものが含まれている。

しかし、中間目標の達成はできていても、それが最終目標達成の見通しへとつながっていないものもあり、当初の最終目標達成のみにこだわらず、最終目標の修正があってもよいであろう。特許出願はやや少なく、実用化を見据えた研究開発の中、特許戦略を強化して欲しい。また、一般に向けた情報発信は、不十分であり、「金属ガラス」の研究開発で世界をリードしている点をアピールすべきである。さらに、学会・論文発表に比べると、展示会や報道への比重が低すぎるであろう。

成果は材料技術としても、加工技術としても新しい技術領域を切り開く可能性のある技術シーズであり、新しい応用分野が切り拓けると期待できる。

4) 実用化の見通しについて

実用化イメージ、出口イメージという意味では、新しい製品、モノにつながる材料・手法を開発することが大事であるが、その点では、新しい手法（ホブ切り）、新しい材料（非平衡結晶合金）という成果が得られている。また、その

成果は、技術の応用可能性・優位性を示すものであり、様々な応用への挑戦を誘発するものとなっている。

しかし、成果の関連分野への波及のためには、論文発表、特許等に努力の余地がある。

今後、コスト・品質といった実用化までの課題に対し、取り残しのない研究開発を期待したい。

研究評価委員会におけるコメント

第23回研究評価委員会（平成21年10月29日開催）に諮り、了承された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所 属、役 職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 (科学技術ジャーナリスト養成プログラム) 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	オリンパス株式会社 新規中核事業企画本部 ヘルスケア事業開発部 企画グループ コーディネーター
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	日本大学 法学部 教授
	大西 優	株式会社カネカ 顧問
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 取締役社長
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	小柳 光正	国立大学法人東北大学大学院 工学研究科 バイオロボティクス専攻 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学 精密機械工学専攻 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	富田 房男	放送大学 北海道学習センター 所長
	架谷 昌信	愛知工業大学 工学機械学科 教授・総合技術研究所所長
宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授	

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

1. プロジェクト全体に関する評価結果

1. 1 総論

1) 総合評価

金属ガラスという日本発の優れた材料を更に発展させ、世界をリードするために、複合化という視点を導入した本事業を実施することは、我が国として必要なものと評価する。また、プロジェクトリーダ及びサブリーダの強い指導力の下に中間目標が全て達成され、金属ガラスの材料としての優れたポテンシャルを複合化により更に高めることに成功している。

しかし、世界をリードするためには、特許出願がやや少なく、特に海外出願も考慮の上、特許戦略を強化して欲しい。また、最終目標の要求性能には不明な個所があり、必要性能と目標値の明確化が望まれる。

ここまでの共通基盤技術研究では、ある程度の成果を上げてきており、今後の2年間の実用化研究がプロジェクト全体の成否を決めるとも言える。

〈肯定的意見〉

- 金属ガラスという日本発のすぐれた材料をさらに発展させ、世界をリードするために、複合化という視点を導入した研究プロジェクトを実施するという姿勢は、我が国としてはぜひ必要なものとして評価する。
- 当プロジェクトは、ハードディスクの記録容量拡大や、内視鏡などの医療検査機器の高度化といった国民生活を豊かにする夢のある技術の開発・実用化をめざしたものである。現状は基盤技術確立の段階だが、実用化の第一歩となる中間目標を概ねクリアしたことは高く評価できる。
- 金属ガラスの材料としての優れたポテンシャルを複合化によりさらに引き出すことに成功し、幾つかの有用な応用の見通しを得つつある。
- 新しい材料として大きな魅力を持つ複合化金属ガラスの可能性が明らかとなり、大きな期待ができる。プロジェクトリーダの強い指導力のもとに中間目標を全て達成したことは高く評価できる。
- 東北大学金属材料研究所のアモルファス金属から始まる金属ガラス単相合金の研究の蓄積の上に進められている、複合化金属ガラスの研究は、さらに実用的な可能性を高めたといえ、高く評価できる。日本発の技術なので、大切に育てて行きたい。
- 東北大学を中心にした研究体制がしっかりと構築されており、中間目標が着実に達成されている。
- 従来 material と本質的に異なる日本発の新材料である金属ガラスの複合化技術も、日本で行うべきであるが、未知の部分も多く民間だけで自発的に開発が進む段階に無いことから、本事業は大変価値がある。

〈問題点・改善すべき点〉

- 共通基盤技術①の研究課題については、十分な論文発表等があるが、②、③については少なく、また実用化を目指した研究としては特許出願が少ない印象である。世界をリードするとした場合、特に特許が重要であろう。
- 中間評価段階で問題点は特に見当たらない。22年度以降の実用化技術研究での成果を期待するところである。
- 中間目標の達成にばかり気を取られた感がある。中間目標は最終目標達成のための中間点であり、この成果から最終目標に向けた見通しを引き出すことも必要である。
- 最終目標の要求性能が不明な個所があり、必要性能と目標値の明確化が望まれる。

〈その他の意見〉

- ・ ここまでの共通基盤技術研究ではある程度の成果を上げてきている。今後の2年間の実用化研究がプロジェクト全体の成否を決めるともいえる。その意味で、実用化研究経費（助成金）の増額も検討すべきであろう。
- ・ シーズ型開発研究の困難点が一部に見られる。
- ・ 市場効果に於けるハードディスクドライブの効果金額があまりに大きく、やや奇異に感じられる。今回の開発に関与した部分に限定した方がよいであろう。

2) 今後に対する提言

産学の連携体制が構築されており、基礎グループと実用化グループの間の更なる連携の緊密化によって、研究開発の一層の深化が期待できる。

本プロジェクトの実用化分野は、技術革新のスピードが速い上、ニーズの変化も激しい。プロジェクト推進中であっても、実用化イメージ、目標の見直し等にあたっては、市場変化に柔軟に対応することが必要であろう。場合によっては、当初の計画に縛られず、応用の見通しが得られた技術の研究開発に注力しても良いであろう。

実用化への課題は製品コストであり、特に材料から製品までを考慮した製造技術(トータルプロセス)から見た研究開発を心がけて欲しい。

〈今後に対する提言〉

- ・ 産学の連携体制が構築されており、基礎グループと実用化グループ間の連携を緊密にすることによって、研究の一層の深化を期待できる。
- ・ 現状では、金属ガラスの特徴である、安定な過冷却液体や高強度を利用している。もう一つの大きな特徴である熱履歴による構造や物性の変化については、構造緩和により脆化することと、これを抑えた複合化の技術が開発されている。しかし、ガラスの熱履歴性を積極的に利用した材料開発もできると、大変興味深い。例えば、カルコゲナイド・ガラスでは、バンド・ギャップが僅かに変化するが、これにより色が変わる。構造や物性の僅かな変化でも、場合によっては大きく利用法が広がる可能性もある。
- ・ 複合化金属ガラスの実用化分野は、技術革新のスピードが速いうえ、ニーズの変化も激しい。プロジェクト推進中であっても、実用化イメージ、目標の設定などにあたっては、市場変化に柔軟に対応することが必要である。
- ・ 当初の計画に縛られず、応用の見通しが得られたもの・方向に注力してもよいであろう。得られた中間成果を活用し、最終目標を再検討すべき点がある。
- ・ NEDO としては、なぜ金属ガラスの複合化が必要であるのかという説明を十分行うという姿勢が常に必要であると思う。資料5-3、P5/46の説明において、単相金属ガラスの説明において、「金属ガラスが十分普及しているとはいえない」という説明があったが、なぜ普及していないのかという説明が必要であろう。また、各研究課題においても、単相金属ガラスではこういう問題が発生するので、複合化によりそれを解決するというのを、もっと明快に説明すべきであると思う。
- ・ 実用化への課題は製品コストである。特に材料から製品までを考慮した製造技術(トータルプロセス)からみた研究開発を心がけて欲しい。

- ・ 金属ガラス、複合化金属ガラスの研究をより深掘して、材料的な特徴作りを進めれば、より多くの応用可能性が広がるものと思われる。

〈その他の意見〉

- ・ 金属ガラスは一般に馴染みの薄い材料。単相合金、複合化金属ガラスといった専門用語を使う際は、一般の人にも分かりやすい解説が必要。この材料が実用化イメージにどう結び付くかという点も合わせ、きめ細かな広報・宣伝をお願いしたい。
- ・ 当初の最終目標に向けた応用開発を無理に押し進めるだけでなく、このユニークな材料の有用な応用分野についての再検討も必要と思われる。
- ・ 論文発表数等をみると、研究課題①が最も重点課題であるようにも思えるのだが、実用化研究の年限や助成金額からみると、①に関連する研究課題④が年限も短く、金額も最も少ない。来年度から④を始め、助成金の増額等をしないと①とのバランスが取れず、また企業の本気度もあがらないと思う。また、HDDシステムメーカーの参加も必要であろう。
- ・ 今後、特許が多数出願されると思われる。特に海外出願も考慮の上、特許戦略を立て、出願していただきたい。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

金属ガラスという日本発の優れた材料を更に発展させ、世界をリードするために、複合化という視点を導入した本事業を実施することは、我が国として必要なものと評価する。また、実用化までには幾つものハードルを越えなければならない、基盤技術開発の段階では個々の企業による継続的な研究開発が難しい面もあり、NEDO が関与することは極めて有効である。さらに、金属ガラスは非常にユニークな材料であって、多くの応用の可能性を持ち、本材料ならではの有用な応用を見出すことは、国際競争力強化の点からも極めて重要である。

しかし、具体的な応用については、戦略的・組織的な再検討も必要であろう。今後も、海外からの追い上げに対しては、日本発の技術として大切に育てて行く必要がある。

〈肯定的意見〉

- 金属ガラスという日本発のすぐれた材料をさらに発展させ、世界をリードするために、複合化という視点を導入した研究プロジェクトを実施するという姿勢は、我が国としてはぜひ必要なものとして評価する。
- 金属ガラスを用いた部材・製品は、国民生活を豊かにしたり、安全・安心を高めたりする効果が期待できる。一方で、実用化までにはいくつものハードルを越えなければならない、基盤技術開発の段階では個企業による継続的な研究開発は難しい面もある。この点、NEDO が関与することは極めて有効である。また、材料分野での先進技術開発は、日本のものづくり産業の国際競争力の維持・強化の観点からも重要。さらに医療用検査機器の実用化は国民の健康増進に寄与する可能性を秘めている。将来の市場拡大効果だけでなく、有形無形の効果が期待できるので、予算投入の意義は極めて大きい。
- 金属ガラスは非常にユニークな材料であり、多くの応用の可能性を持つ。本材料ならではの有用な応用を見出すことは国際競争力強化の点からも最重要であるが、実現までのリスクは高い。
- 利用開拓まで含めた新規材料開発であり、NEDO の助成が必要である。また NEDO の研究マネジメントも必要と考える。
- 日本発の技術として、不連続な飛躍につながる技術シーズであり、新しい分野を切り拓く基盤技術として、イノベーションプログラムのテーマとして適切である。また、その意味で公共性が高く NEDO の関与は重要である。
- 金属ガラスに関する材料学をベースにし、幅広い産業分野へ応用しようと

するもので、新規性のあるプロジェクトであり、NEDO の支援事業にふさわしい。磁気記録分野は市場性の高い分野であり、2 T/inch² クラスおよびそれを超える領域の研究は、方式・材料・プロセスとも世界的に競合しながら、精力的な研究が進められており、国際競争環境下での支援事業としてふさわしいと思われる。

- 金属ガラスは、無秩序な構造を持ち非平衡状態でありながら、バルクとして得られ、従来のもとは本質的に異なる材料である。また、日本発の新材料である。したがって、複合化の技術もぜひ世界に先駆けて日本で行うべきであり、革新的部材が開発される可能性が高い。しかし、まだ未知の部分も多く、民間だけで自発的に開発が進む段階には無い。以上のことから、本事業は NEDO が関与することが適切な典型的な事業であると考えられる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 複合化により塑性加工性、硬磁気特性、高電気伝導性を兼ね備えれば、さらに革新的製品開発が可能という産業界からの強い要望が本プロジェクトの理由であるとしているが、本プロジェクト中に現在の3 実用化研究対象よりは、さらに革新性のある、インパクトの強い製品を是非検討してほしい。現行の3 実用化研究対象は、従来技術の改良型製品であるという印象が強く、やや弱いと感じる。実用化研究の項目として新しく作る必要はないが、こんな革新的、画期的製品も考えられるぞ、ということアピールしてほしい。
- 具体的な応用について、もっと戦略的・組織的な検討も必要である。ただし、これは必ずしも本事業の内容ではないかもしれない。
- 磁気記録分野は非常に研究競争が激しくなっており、2 Tbit/in² クラスの作製プロセスや材料についても、真剣な議論が行われている。したがってプロジェクトで提案する手法・新材料の特徴を、早期にかつ具体的に明らかにすることが期待される。

〈その他の意見〉

- ・ 内外の技術動向や市場についてもっと他分野からのアプローチが必要と思われる。材料のエキスパートだけでは荷が重いかもしれない。
- ・ プログラムとして、研究の深掘りと応用の可能性の検証の両方をマネジメントする必要があるので、予算、マネジメント等の支援をより厚くしてもらいたい。特に、海外からの追い上げに対応して日本発の技術として大切に育てる必要がある。

2) 研究開発マネジメントについて

金属ガラスの第一人者であるプロジェクトリーダーの下で、効率的な実施体制が整えられており、心強い。プロジェクトリーダー及びサブリーダーは、他に適任者がいないと判断される。また、基礎研究を行う大学の研究者と実用化を行う企業の開発者が、上手く連携している。さらに、研究開発の目標及び計画は妥当であり、基礎的な研究の成果を更に生かせる可能性がある。

しかし、ユーザーとの連携は、十分に取れているかが明らかになっていない。また、実用化研究参加企業が HDD (ハードディスクドライブ) 事業から撤退し、企業の入れ替えがあったが、メディアメーカーだけでなく、HDD システムのメーカーにも参加を求めて欲しい。さらに、最終目標達成に向けては、必要な要素技術の見直しも望まれる。

〈肯定的意見〉

- 市場動向を踏まえた適切な目標が設定されているほか、実用化までのシナリオも明確。金属ガラスの第一人者である井上プロジェクトリーダーのもとで、効率的な実施体制を整えていることも心強い。
- 戦略的な目標設定がされており、材料開発面での研究実施体制はよく構築されている。
- プロジェクトリーダー、サブリーダーは、他に適任者はいないと判断され、また目標、計画は、本プロジェクトの開始当時の状況からいえば妥当なものである。
- 強力なプロジェクトリーダーを中心とした研究開発体制のもと、ほぼ計画通り研究が推進された。その間、適宜、研究開発課題に対して加工手段・方法などの見直しを行い、中間目標を達成したことは研究開発マネジメントによるところと思う。
- 研究目標、研究計画については妥当と考えるが、さらに基礎的な研究の成果を生かせる可能性があり、予算的にもマネジメントの支援においても強化すれば、よりインパクトの高い目標を達成できると思われる。
- 東北大学を中心とした優れた研究者や実施企業が参画しており、プロジェクトリーダーを中心とした強力なマネジメント体制が構築されており、成果が期待できる。
- 基礎研究を行う大学の研究者と実用化を行う企業の開発者が、上手く連携している。

〈問題点・改善すべき点〉

- ユーザーとの連携が十分にとれているか不透明である。実用化技術の開発

に当たっては、ユーザーのニーズをよりの確に捉えることが不可欠である。

- 最終目標達成に向けての、必要な要素技術の見直しが必要である。
- 研究課題①については、中間評価の委員から多くの意見が出されたが、これらの意見を参考に、現在の他の研究動向を把握したうえで、本プロジェクトの位置づけを再度明確にして研究を進めるべきであろう。また、実用化研究参加企業が HDD 事業から撤退し、企業の入れ替えがあったが、ゼビメディアメーカーだけでなく、HDD システムのメーカーにも参加を求めている。
- 開発基礎研究であるが、産業化を見通したプロジェクトなので、実用形態のシミュレーションが必要である。優れた研究者と企業が参画する組織が形成されており、実施企業と研究者が連携を密にして数値目標を想定することによって、研究が一層進展すると思われる。

〈その他の意見〉

- ・ プロジェクト推進中に委託先企業に変更があった。事業のスムーズな継続に支障が出ないように、参加企業の一段の連携が求められる。
- ・ 本事業の優秀な人的リソースを本事業以外にも大いに活用して欲しい。
- ・ マネジメントとしては統括するリーダーに研究面でも、実用化の実証の面でも高い負荷が掛かっているものと思われ支援の強化が必要のように思われる。また、今回の評価対象ではないのかもしれないが、実用性の実証で企業が担当している補助事業の部分では、委託的な研究開発の内容も多く、予算的な強化がより成果を確実なものとすると思われる。

3) 研究開発成果について

ハードディスクの記録容量拡大や、内視鏡などの医療検査機器の高度化といった国民生活を豊かにする夢のある技術の研究開発・実用化を目指し、現状は基盤技術確立の段階だが、実用化の第一歩となる中間目標をクリアしたことは高く評価できる。また、個々の研究開発成果にはその分野で世界最高水準のものが含まれている。

しかし、中間目標の達成はできていても、それが最終目標達成の見通しへとつながっていないものもあり、当初の最終目標達成のみにこだわらず、最終目標の修正があってもよいであろう。特許出願はやや少なく、実用化を見据えた研究開発の中、特許戦略を強化して欲しい。また、一般に向けた情報発信は、不十分であり、「金属ガラス」の研究開発で世界をリードしている点をアピールすべきである。さらに、学会・論文発表に比べると、展示会や報道への比重が低すぎるであろう。

成果は材料技術としても、加工技術としても新しい技術領域を切り開く可能性のある技術シーズであり、新しい応用分野が切り拓けると期待できる。

〈肯定的意見〉

- 設定された中間目標はいずれも 100 %達成されている。また、個々の成果もその分野では世界最高水準のものが含まれる。
- 全般的に中間目標値をほぼ達成している点を評価したい。研究課題①については、論文等を通じての成果の普及努力も評価できる。
- 最終目標に向かって、順調に研究が進んでおり、中間目標も全て達成している。論文発表など成果の普及では、各研究項目にややバラツキあるもの、おおむね良好と考える。
- 成果は、世界的なものであり、新しい技術領域、応用分野が切り拓けるものと期待できる。
- 計画が着実に実施されており、中間目標が達成されている。
- 中間目標はすべて達成されており、最終目標達成に向けた今後の課題も明確になっている。
- 目標達成までのプロセスに一部変更はあったものの、3プロジェクトとも中間目標をクリアしている点は高く評価できる。実用化技術（最終目標達成）への道筋が明確なうえ、他の競合技術に対する優位性も認められる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 中間目標は達成されているが、そこから最終目標に向けての見通しを得る工夫が必要である。一部は目標そのものの見直しが必要と思われる。

- 研究課題②、③については論文発表、特許等が少なく改善を希望する。
- やや特許出願提案が少ないように思われる。今後は、デバイス実用化を見据えた研究のなか、特許戦略を立て知的財産権等の取得をして欲しい。
- 学会・論文発表に比べるとパブリシティーとしての展示会や報道への比重が低いと思われる。将来の応用分野を広げるためにも、最終年度を目指して検討をしてほしい。
- 中間目標での数値達成を急ぐあまり、最終目標に向けた基礎データの取得が十分でない点があるように感じられる。
- 中間段階では難しい面もあるが、一般に向けた情報発信が不十分。特に「金属ガラス」の研究で世界をリードしているといった点をアピールすべきである。

〈その他の意見〉

- ・ 各研究課題につき、最終目標達成の方策について説明があったが、以下を希望したい。
 - 研究課題① 研究の位置づけを再度明確化すること
 - 研究課題② 当初の最終目標を修正し、ホブ切りによる最終目標達成も候補とすること
 - 研究課題③ 当初の最終目標を修正し、非平衡結晶合金による最終目標達成も候補とすること
- ・ 材料技術としても、加工技術としても新しい技術領域を切り開く可能性のある技術シーズであるので、より技術の特徴を際立たせることが出来る研究の深堀を行うことによって、さらに応用分野を広げられるのではないかと考えられる。
- ・ 必ずしも当初設定された最終目標の達成のみに限定する必要はない。

4) 実用化の見通しについて

実用化イメージ、出口イメージという意味では、新しい製品、モノにつながる材料・手法を開発することが大事であるが、その点では、新しい手法（ホブ切り）、新しい材料（非平衡結晶合金）という成果が得られている。また、その成果は、技術の応用可能性・優位性を示すものであり、様々な応用への挑戦を誘発するものとなっている。

しかし、成果の関連分野への波及のためには、論文発表、特許等に努力の余地がある。

今後、コスト・品質といった実用化までの課題に対し、取り残しのない研究開発を期待したい。

〈肯定的意見〉

- 実用化イメージ、出口イメージという意味では、新しい製品、モノにつながる材料・手法が開発できることが大事で、その点では、新しい手法（ホブ切り）、新しい材料（非平衡結晶合金）という、本プロジェクトで得られた成果を大事にしてほしい。
- 実用化イメージ、出口イメージが非常に明確。3プロジェクトとも経済的・社会的な波及効果が期待できる。
- 応用先が明確であり、実用化イメージが明瞭な研究である。
- 出口イメージは明確となっており、その目標に向かっての研究開発となっている。
- 技術の応用可能性・優位性を示せるものとしての実用化イメージであり、さまざまな応用への挑戦を誘発するものとなっている。その意味で、関連分野への波及効果があり、まさにこの点がこのプログラムの重要性である。

〈問題点・改善すべき点〉

- 成果の関連分野への波及のためには、論文発表、特許等にまだまだ努力の余地がある。
- 基盤技術の確立を目指している段階なのでやむを得ないが、後半の実用化技術研究では、実用化・出口イメージだけでなく、製造コストなど経済性についても、一定レベル（厳密でなくてもよい）の検証が必要である。
- 目標は非常に戦略的であるが、本事業での実用化イメージが見えないものもある。
- 実用化を目指す研究段階であり、実用化企業と連携した、より詳細な研究目標の設定や計画の立案が必要と思われる。

〈その他の意見〉

- ・ ナノ構造部材開発の成果は、より相応しい応用分野を検討することも有用と思われる。
- ・ 今後、コスト・品質といった実用化までの課題に対し、取り残しのない研究開発を期待したい。

2. 個別テーマに関する評価結果

2. 1 複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術

1) 研究開発成果についての評価

世界最高水準である 1Tbit/in²級の金型とこれを用いたインプリントパターン
の作成に成功している点を評価する。また、安定な過冷却液体状態を使つての
インプリント加工は、金属ガラスならではの特徴を生かした優れた技術であり、
軟磁性裏打ち層と非磁性金属ガラスのインプリント層を使う構造では、中間目
標を達成しており、最終目標達成に向けた今後の課題が明確になっている。

しかし、最終目標の達成可能性については、硬質磁性材料として選択された
材料が最終目標に合致するかどうかを早急に検討する必要がある。作製され
た金型や硬質磁性ドット（ホール）の位置や形状などの精密な検証を進めて欲
しい。

今後、中間成果を基に、最終目標がいかにしたら達成できるかを精査するこ
とも重要である。

〈肯定的意見〉

- 1Tbit/in² 級の金型とこれを用いたインプリントパターンの作成に成功し
ている点を評価する。
- 安定な過冷却液体状態を使つてのインプリント加工は、金属ガラスならで
はの特徴を生かした優れた技術である。軟磁性裏打ち層と非磁性金属ガラ
スのインプリント層を使う構造では、中間目標を達成しており、最終目標
達成に向けた今後の課題が明確になっている。
- 合金創製、金型創製、インプリント技術のすべてで中間目標・自主目標を
達成している。特にインプリント技術では、世界最高水準のインプリント
パターンの創製に成功しており、高く評価できる。
- 金属ガラスが 25 nm ピッチのナノインプリント加工が可能であることを示し
たことは特筆すべき成果といえる。
- 非常にチャレンジャブルな研究開発に対し、3 項目それぞれの目標を達成
した。硬磁性膜の成膜について MGS 法を用いて目標達成したことは高く
評価できる。
- 複合化金属ガラスという材料の優位性をナノ構造化することによって、他
の材料では実現できない特性を目指せる可能性が十分ある。
- 新しい BPM 作製技術を提案するプロジェクトであり、Pd 金属ガラスに
よる微細な基板パターン配列も作製されており、産業貢献の意義は大きい。

〈問題点・改善すべき点〉

- **FIB** デポジション+ドライエッチングで可能な金型面積についての検討が必要であろう。
- 軟磁性金属ガラスのインプリント層を使う構造等では、金型との反応が問題となっている。これは、熱的不安定性という金属ガラスの弱点が顕わになってしまった例と思われる。
- 中間成果を基に、最終目標がいかにしたら達成できるかを精査する必要がある。特に、硬磁性材料の特性維持や、ドット形状の精度予測、インプリントホール底部残厚の低減については検討必須項目である。
- 中間目標数値は達成されているが、硬質磁性材料として選択された材料が、最終目標に合致するかどうかを早急に検討する必要がある。作製された金型や硬質磁性ドット（ホール）の位置や形状などの精密な評価を進めてほしい。前者は非結晶金属インプリント金型材料としての評価になり、後者は **BPM** としての可能性検討に非常に重要である。これによって最終目標を達成するための改良点を明らかにすることができる。

〈その他の意見〉

- ・ 研究課題名からは、硬磁性膜が金属ガラスであるような印象であるが、それでよいのか。Co/Pd 膜そのものは、それほど新規性はないように思うのだが。
- ・ 中間目標は達成できたが、そこから最終目標に向けての見通しが必ずしもよく見えていない。

2) 実用化の見通しについての評価

面記録密度 1 Tbit/in² 用の磁気ディスク基板の加工技術の成果については、精度と生産性を上げることで実用化の見通しが得られる可能性が高い。他技術との製造コストの簡単な比較を試みるなど、実用化イメージが非常に明確であり、可能であれば、研究開発課題「次世代高密度磁気記録媒体の開発」を1年前倒しにスタートさせることも望まれる。

しかし、磁性ドットについては、最終目標達成のためのアプローチを再構築することが望まれる。また、HDD システムのメーカーにも参加を要請すべきであろう。

〈肯定的意見〉

- 1 Tdot/in² 程度での磁気ディスク基板の加工技術の成果については、精度と生産性を高めることで実用化の見通しが得られる可能性がある。
- 共通基盤技術研究としては最終目標を達成することは十分可能であろうが、実用化のためには、研究課題④を1年前倒しにスタートさせ、また助成金も増額すべきと思う。
- 出口イメージが明確となっており、開発の各段階でのマイルストーンを通して研究開発を行っている。
- 出口と想定されているパターンメディアとしては、十分競争力のあるものとなる可能性がある。システム化を担当する企業等との情報交換を十分に行い、メディアとして求められるものを反映した研究開発の進め方を行う必要がある。
- ハードディスクの大容量化のニーズは依然として高い。目標となる1インチ当たり2 Tb超という記録容量を明確に示しているほか、他技術との製造コストの簡単な比較を試みるなど、実用化イメージが非常に明確である。

〈問題点・改善すべき点〉

- 磁性ドットについては最終目標達成のためのアプローチの再構築が必要である。
- HDD システムのメーカーにも参加を要請すべきであろう。HDD の市場が43,000 億円であると主張する以上、メディアだけの議論にならないような配慮も必要であろう。

〈その他の意見〉

- ・ 技術推進委員会委員および外部有識者メンバーを交えた最終目標の位置付けの再確認が必要と思われる。

3) 今後に対する提言

HD の磁気記録媒体として優れている点を、記憶容量の面だけでなく、他の側面から検証する必要もあろう。また、メディア単体だけで求められる機能特性の目標を決められないところもあるので、システム化技術を担当、開発する企業との十分な情報交換が求められる。

昨今、競合のフラッシュメモリーの価格低下が激しくなっており、市場動向をよく見て、本研究開発テーマが勝てる世界を作って欲しい。また、独自の磁気パターンニング技術なので、必ずしも BPM (Bit Patterned Media) のようなナノレベルに限定されないでも、新たな応用分野への展開の可能性も期待できる。

〈今後に対する提言〉

- HD などの記録媒体では、HD 以外にも様々な媒体が使われている。金属ガラスが HD の磁気記録媒体として優れている点を、記憶容量の面だけでなく、耐久性など他の側面から検証する必要もあるのではないかな。
- 中間評価における各委員のコメントを十分吟味の上、今後の研究を加速していただきたい。
- 昨今、競合のフラッシュメモリーの価格低下が激しくなっている。市場動向をよく見て、本テーマが勝てる世界を作って欲しい。
- メディア単体だけで求められる機能特性の目標を決められないところもあるので、システム化技術を担当、開発する企業との十分な情報交換が求められる。
- 金型との反応が、様々な金属ガラスを使うことに制約を与えているので、金型の材質や、金型の表面へのコーティング等を検討したらどうかなと思う。
- ディスク媒体作製の他方式の進展も考慮して、それらに対するアドバンテージが明瞭になるように今後の目標を再検討すべきと思われる。

〈その他の意見〉

- プロジェクトの研究成果が口頭・論文発表に結びついていないように感じられる。研究なので時間的ずれはあると思うが、新規なプロセスの提案なので積極的に発表してほしい。独自の磁気パターンニング技術なので、必ずしも BPM のようなナノレベルに限定されないでも、新たな応用分野への展開の可能性も期待できる。
- ナノインプリント性を用いた、他の有用な応用についてもどこかで検討するとよい。

2. 2 複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術

1) 研究開発成果についての評価

複合化金属ガラスの特徴を生かしたプレス加工のアイデアは優れている。中間目標を達成する材料の創製と歯車の試作に成功しており、試作ギヤヘッドの回転動作試験にも成功している。また、複合化金属ガラスの圧縮強さ、圧縮塑性伸び共に中間目標を上回る成果をあげたことは高く評価できる。加工段階で寸法精度を高められる複合化金属ガラスを選定できたことも開発成果の一つとして特筆できる。電磁型マイクロアクチュエータの要求が強い医療機器の高度化につながる技術だけに、早期の実用化を期待する。

しかし、プレス加工については、切削モード時の表面の傷及びバリが、コイニングモードでは取りきれない可能性が高く、切削モードでの精度改善のために、切削加工の専門家の助言を仰ぐ必要があるだろう。ホブ切りだけで最終目標を達成できるなら、プレス加工に拘る必要はないであろう。

今後の課題に挙げられているが、脱貴金属元素による複合化金属ガラス創製についての検証も実用化を図る上では重要である。

〈肯定的意見〉

- 複合化金属ガラスの特徴を生かしたプレス加工のアイデアは優れている。中間目標を達成する材料の創製と歯車の試作に成功している。試作ギヤヘッドの回転動作試験にも成功している。
- 合金創製に関し、圧縮強さ、圧縮塑性伸びともに中間目標を上回る成果をあげたことは高く評価できる。また加工段階で寸法精度を高められる合金を選定できたことも開発成果の一つとして特筆できる。医療機器の高度化につながる技術だけに、早期の実用化を期待する。
- 複合化金属ガラスによる新規材料特性の創出が最も成功した例といえる。実用化に必要な要素技術もしっかりと検討されている。
- 中間評価段階で、外径 0.9mm の減速機を設計・試作・組立し、さらに運転の段階にまで到達したことを高く評価する。
- 市場からは電磁型マイクロアクチュエータの要求が強い。この要求に対し、本研究はマッチングしており、非常に魅力的である。前回の「金属ガラスの成形技術」プロジェクトからさらなる微小化・低コスト化できる精密プレス成形加工の可能性に目処をつけたことは、高く評価できる。
- 技術の特性を生かして他の材料では実現できない超小型・超精密ギア実現することは、それに必要な加工技術の研究も含めて高いレベルのものである。

〈問題点・改善すべき点〉

- プレス成型法では、切削モード時の表面の傷、バリが、コイニングモードでは取りきれない可能性が高い。切削モードでの精度改善のために、切削加工の専門家の助言を仰ぐ必要があるだろう。
ホブ切りだけで最終目標を達成できるなら、プレス成型にこだわる必要はないと思う。

〈その他の意見〉

- ・ 今後の課題に挙げられているが、脱貴金属元素による合金創製についての検証も実用化をはかるうえでは重要な研究テーマになると思う。
- ・ この先、モータの超小型化をどこまで進めるべきかを検討することも必要と思われる。また、ギヤの小型化という同一目的での、金属ガラスの代替材料の可能性の有無も検討すべきと思われる。

2) 実用化の見通しについての評価

世界最小サイズのモータの試作に目途をつけている他、医療用機器への適用を視野に、課題と実用化までのスケジュールをきちんと示せており、高く評価できる。実用化は大いに可能であろう。

しかし、応用製品については、競合技術の調査を更に進めて欲しい。

実用化イメージがかなり明確なので、詳細な市場予測、経済性の評価などを前倒しで実施した方が良いであろう。超小型モータによる内視鏡やカテーテル以外の市場創出についても検討して欲しい。

〈肯定的意見〉

- 世界最小サイズのモータの試作にめどをつけているほか、医療用機器への適用を視野に、課題と実用化までのスケジュールをきちんと示せており、高く評価できる。
- 計画以上に実用化への展開が進んでおり、実用化は大いに期待できる。
- 実用化は大いに可能であると思う。
- 出口イメージが明確となっており、それに合致した製造法を通した研究開発となっている。
- 技術的な可能性を示すことは、これに続く応用開発を誘発するものとして、重要であり、プログラム内で想定されている応用だけではなく、他の応用へもつながる可能性がある。
- 超微小モータという実用化のイメージは明確であり、実用化の可能性も高いと感じられる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 応用製品の競合技術についても調査を進めるべきである。
- ホブ切りとコイニングの組み合わせという方法も考えられるであろう。
(切削モードの代わりにホブ切りを使う)

〈その他の意見〉

- ・ 実用化イメージがかなり明確なので、詳細な市場予測、経済性の評価などを前倒しで実施したほうがよいであろう。
- ・ 超小型モータによる内視鏡やカテーテル以外の市場創出についての検討も必要と思われる。

3) 今後に対する提言

本研究開発テーマの材料、加工技術で示された超小型・超精密の部品技術の可能性を示すことにより、新たな応用を誘発する効果がある。プロジェクト終了時には、この材料、加工技術で、どの程度の減速比が実現できるのかを示して欲しい。

0.9 mm φ モータについては実用化を急いで欲しい。また、競合技術と比較してアドバンテージを持ちうる小型モータの極限を検討して欲しい。

実用化イメージが明確なので、対外発表などピーアールを更に活発化し、特に「医療検査機器の高度化につながる技術」という点をアピールした方がよい。

最終目標達成の方策については、ホブ切りも候補にして欲しい。

〈今後に対する提言〉

- ・ この材料、この加工技術で示された超小型・超精密の部品技術の可能性を示すことにより、新たな応用を誘発する効果がある。
- ・ 実用化イメージが明確なので、対外発表などPRをさらに活発化した方がよいのではないか。特に「医療検査機器の高度化につながる技術」という点をアピールした方がよい。
- ・ 0.9 mm φ モータについては実用化を急ぐべきである。
- ・ 研究終了時には、この方法で、どの程度の減速比が実現できるのかを示してほしい。
- ・ 小型モータ以外のマイクロアクチュエータへの展開に対しても検討して欲しい。

〈その他の意見〉

- ・ 競合技術と比較してアドバンテージを持ちうる小型モータの極限を検討して欲しい。
- ・ 遊星歯車より小さい太陽歯車が、金属ガラスでなくても、加工上、運転上の問題がないという点が少々奇異に感じられる。

2. 3 複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術

1) 研究開発成果についての評価

中間目標を、金属ガラスではないにしても、非平衡結晶合金により達成できていることを評価する。また、引っ張り強さと高導電性を併せ持つ複合材料を創製するアイディアは優れている。特に、Be-Cu 合金を上回る強度、導電率をクリアしたことは高く評価でき、将来の Be-Cu 代替材料への可能性を得たことは大きな成果といえる。

しかし、2つの研究開発テーマについては、連携が十分でなく、2つの材料の提案となっており、お互いの位置付けを明確にする必要があると考える。

〈肯定的意見〉

- 中間目標を、金属ガラスではないにしても、非平衡結晶合金により達成できていることを評価する。
- 高強度という金属ガラスの特徴を生かし、引っ張り強さと高導電性を併せ持つ複合材料を創製するアイディアは優れている。引っ張り強さと導電率の中間目標は達成されている。
- ベリリウム銅合金を上回る強度、導電率をクリアしたことは高く評価できる。精密薄板作製技術についても、金属ガラスに関する基盤研究を生かし、金属ガラスを出発点とする非平衡結晶合金を開発、これにより中間目標を達成した。
- 当初の複合金属ガラスではないが、同技術から派生した非平衡結晶合金を開発し、将来の Be-Cu 代替材料への可能性を得たことは大きな成果といえる。
- 研究開発項目③—1、③—2 のそれぞれの目標値は達成している点は評価できる。
- 資源的な問題もあり、本プログラムで示された機械的な特性と電気的な特性を併せ持つ成果は、今後の電子部品分野で重要な意義を持つものと考えられる。

〈問題点・改善すべき点〉

- ただし、上記の達成が、合金創成と複合化チームではなく、精密薄板作成チームにより実現された点に違和感を覚えた。内部の連携が不十分であるとの印象を与えかねないので、今後注意を要すると思う。
- 最終目標を達成するためには、複合則の理論式からの予測では、中間目標を達成した Zr 基金属ガラスでは不十分であり、より強度の高い Fe 基や Ni 基金属ガラスが必要である。しかし、そのためには、複合化の際の結

晶化を抑える必要がある。また、精密薄板作製は、金属ガラスと純銅との複合化では実現できず、中間目標は非平衡結晶合金で達成している。両者の違いの原因を解明し、金属ガラスと純銅との複合材料による薄板作製技術の開発が必要である。

- 精密薄板作製技術に関し、複合化金属ガラスによる精密薄板化の技術確立。
- 材料特性値だけが目標となっているが、一応用であるコネクタ材料としての目標値を明確にすべきである。
- まだ中間段階であるが、研究開発項目③—1、③—2 を個別に研究を進めてきた結果、2つの材料の提案となっている。お互いの位置付けを明確にする必要があると考える。

2) 実用化の見通しについての評価

出口イメージを明確にし、その目標に向かった研究開発となっており、最終目標に対しての課題も明確となっている。特に、Cu-Be 合金は、機械的特性（ばね性、耐摩耗性、耐食性、硬度）にも優れ、電気接点以外にも多くの分野で使用されているので、開発した新合金のこれらの特性も評価すれば、接点以外の応用も広がると期待する。

今後、中間目標の成果から、最終目標の達成への道筋を明確にする必要もあろう。

〈肯定的意見〉

- 出口イメージを明確にし、その目標に向かった研究となっている。最終目標に対しての課題も明確となっている。
- 実用化を目指す企業による製品化とそれに必要な基礎研究を進めれば、実用化の見通しは高く、特にこのテーマでは強くそれが言える。
- 非平衡結晶合金を使えば実用化に近いと思われる。
- ベリリウム銅代替の動きがある中で、代替材料として市場に認められるには、既存材料を凌駕する性能が必要である。コスト面の評価や量産技術の確立は今後の課題となるが、性能面を中心に商品化のイメージをきちんと描けている。
- 材料特性として中間目標が達成されており、今後 Be-Cu 代替材料としてコネクタ以外にも応用が期待される。
- Cu-Be 合金は、機械的特性（ばね性、耐摩耗性、耐食性、硬度）にも優れ、電気接点以外にも多くの分野で使用されているので、開発した新合金のこれらの特性も評価すれば、接点以外の応用も広がると思う。

〈問題点・改善すべき点〉

- 中間目標の成果から、最終目標の達成への道筋を明確にする必要がある。
- 最終的な材料について、機械的特性（ばね性、耐摩耗性、耐食性、硬度）の評価も希望したい。

3) 今後に対する提言

非平衡結晶合金で Be-Cu 合金に代替できるものを見出したとすれば、それはそれで材料の研究開発としての成果であり、金属ガラスに拘ることなく大事にして欲しい。

実用化を目指す企業と十分な情報交換を行い、実用化に必要な基礎研究を更に推進することが望まれる。また、最終製品であるコネクタのメーカーによる検証も取り入れた研究内容にして欲しい。

〈今後に対する提言〉

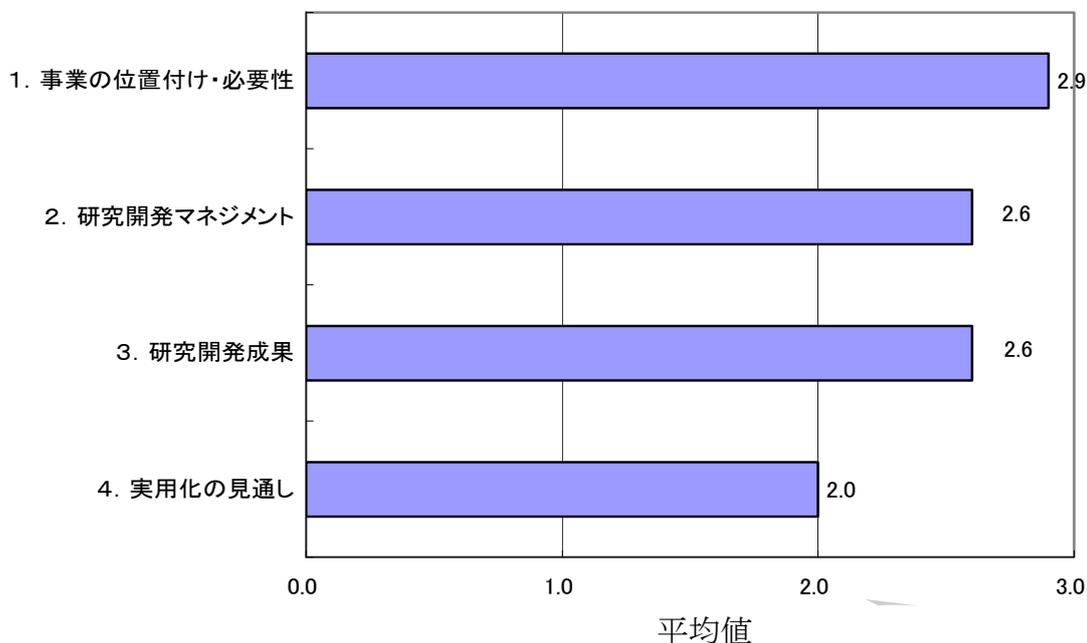
- ・ 非平衡結晶合金で Be-Cu 合金に代替できるものを見出したとすれば、それはそれで材料の研究としての成果であり、金属ガラスにこだわることなく大事にしてほしい。
- ・ 実用化を目指す企業と十分な情報交換を行い、実用化に必要な基礎研究をさらに推進すると実現性が高まるものと考えられる。
- ・ 非平衡結晶合金を使えば実用化に近いと思われるが、より高い性能を目指すためには、金属ガラスと純銅との複合材料による精密薄板作製技術の開発を目指すべきである。
- ・ 精密薄板作製技術については、複合化金属ガラスにこだわらずに、今回開発した非平衡結晶合金に絞ることも検討課題であろう。
- ・ 非平衡結晶合金は派生技術ではあるが、実用化の最有力材料と思われる。今後はこちらの技術に注力して実用化を進めた方がよいと思われる。
- ・ 研究開発項目③—1、③—2 の方向性を良く吟味し、実用化できる技術となるようお願いしたい。

〈その他の意見〉

- ・ 最終製品であるコネクタメーカーの評価も取り入れた研究内容にして欲しい。

3. 評点結果

3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	B	A	A	A	A	
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	B	A	A	A	A	
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	A	A	A	A	A	C	B	
3. 研究開発成果について	2.6	A	A	B	A	A	B	B	
4. 実用化の見通しについて	2.0	B	B	B	B	A	C	B	

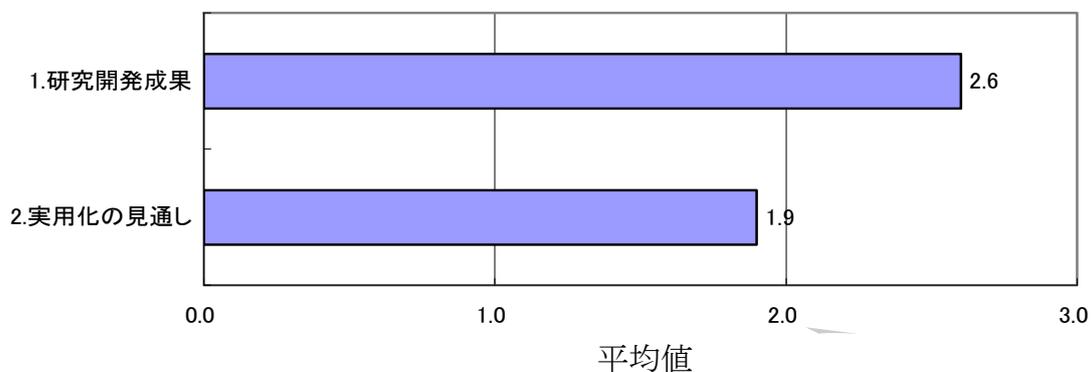
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

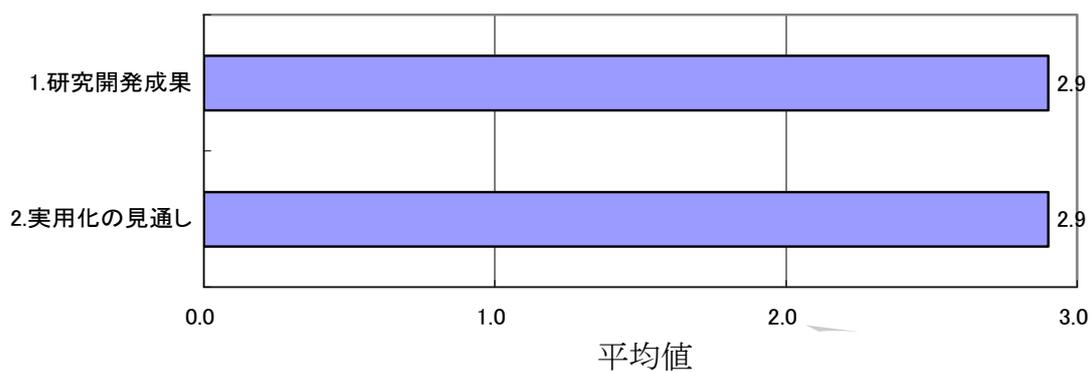
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

3. 2 個別テーマ

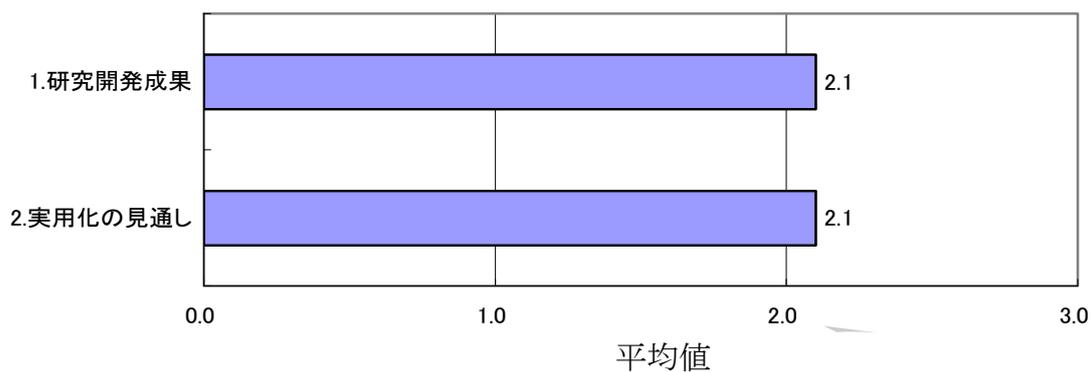
3. 2. 1 複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術



3. 2. 2 複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術



3. 2. 3 複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点（注）							
3. 2. 1 複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術									
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	B	A	A	C	A	
2. 実用化の見通しについて	1.9	B	B	C	B	A	C	B	
3. 2. 2 複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術									
1. 研究開発成果について	2.9	A	A	B	A	A	A	A	
2. 実用化の見通しについて	2.9	A	B	A	A	A	A	A	
3. 2. 3 複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術									
1. 研究開発成果について	2.1	A	B	B	B	A	B	C	
2. 実用化の見通しについて	2.1	B	A	B	B	B	B	B	

（注）A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

2. 実用化の見通しについて

- A ・明確
- B ・妥当
- C ・概ね妥当であるが、課題あり
- D ・見通しが不明

ナノテク・部材イノベーションプログラム 「高機能複合化金属ガラスを用いた革 新的部材技術開発」(中間評価) (平成19年度～平成23年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO技術開発機構
ナノテクノロジー・材料技術開発部

平成21年8月12日

1/46

報告内容

公開

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)国内外の研究開発の動向
- (2)社会的背景と事業の目的
- (3)ナノテク・部材イノベーションプログラムでの位置付け
- (4)NEDOが関与する意義
- (5)実施の効果

II. 研究開発マネジメント

- (1)事業の目標
- (2)事業の計画内容
- (3)研究開発の実施体制
- (4)研究の運営管理
- (5)情勢変化への対応

III. 研究開発成果

- (1)開発目標と達成度
- (2)検討内容

IV. 実用化の見通し

- (1)実用化までのシナリオ
- (2)波及効果

2/46

プロジェクトの概要説明(その1)

I. 事業の位置付け・必要性について

- (1) 国内外の研究開発の動向
- (2) 社会的背景と事業の目的
- (3) プログラムでの位置づけ
- (4) NEDOが関与する意義
- (5) 実施の効果

II. 研究開発マネジメントについて

- (1) 事業の目標
- (2) 事業の計画内容
- (3) 研究開発の実施体制
- (4) 研究の運営管理
- (5) 情勢変化への対応

I. 事業の位置付け・必要性について (1) 国内外の研究開発の動向

国内外の研究開発の動向

1. 国内の研究状況

- ・1988年発明以降、バルク金属ガラスの材料創製及び基礎的研究で常に世界をリード。
- ・数百種を越える開発合金のうち、大半を開発し世界を先導。東北大学の物質科学分野での論文引用数世界3位のランキングに評価に大きく貢献 (ISI-Thomson Scientific, 1998-2008調査)。
- ・開発された合金の広範な実用化が望まれている。



2. 海外の研究状況

- ・**米国** 日本の研究成果に触発され、1993年以降研究開発を開始。最近では米国の国策的研究課題として、NASA、DARPA、U.S.ARMY等との金属ガラスに関する長期共同プロジェクトを実施。2003年にはベンチャー企業”Liquidmetal technologies®”を設立。
- ・**独、英** 日米の研究成果に触発され、1995年以降研究開発を開始。特に、金属ガラスの機械的性質や熱物性を中心とした研究を実施。
- ・**仏** 独英と同様、1995年以降研究開発を開始。英、独、仏、伊等の欧州共同研究体 (EURO-NANO) の拠点。金属ガラスの構造解析を中心とした研究を実施。
- ・**伊** 米Liquidmetal technologiesと射出成形メーカーSAGAが共同ベンチャーを2006年に起業。
- ・**韓国** 日米欧の研究成果に触発され、1999年以降研究開発を開始。Ti基金属ガラスの開発を中心とした研究開発を実施。現在、金属ガラスに関する8年プロジェクト(基礎研究)および12年プロジェクト(実用化研究)が進行中。金属ガラス製携帯電話ケースのベンチャー企業を設立。
- ・**中国** 2000年以降に金属ガラス研究が開始され、研究者数は現在数百人規模に急増。複数の大学で金属ガラスに関する国家プロジェクトが発足。
- ・他に、東欧、ロシア、インド、台湾、シンガポール、カナダ、ブラジルなど多数の国でプロジェクトが発足。

金属ガラスの多様な用途



社会的背景

金属ガラスの機能・特性を十分に活かしつつ、材料創製技術と成型加工技術を融合させることにより、新市場及び新たな雇用を創出する高付加価値産業(材料・部材産業)を構築するとともに、我が国の国際的産業競争力の強化を図る。

事業の目的

従来の金属ガラス単相合金の持つ優れた特徴に加えて、硬磁気特性、塑性加工性、高電気伝導性等の特性を併せ持つ複合化金属ガラス合金を創製し、従来の金属ガラス単相合金では為しえなかった革新的部材の開発を行い、さらに多様な工業製品に応用するための共通基盤技術を確立すること。

イノベーションプログラムの概要

第27回研究開発小委員会(平成21年4月27日)資料

- 「イノベーションプログラム」中での体系的推進 (**Inside Management & Accountability**)
 - 経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。
 - 各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。
- 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (**Outside Communication & Networking**)
 - 先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005/2006/2007/2008』)。
 - 研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。

イノベーションプログラム(IPG)の21年度予算額 (総額: 1,966億円*1)



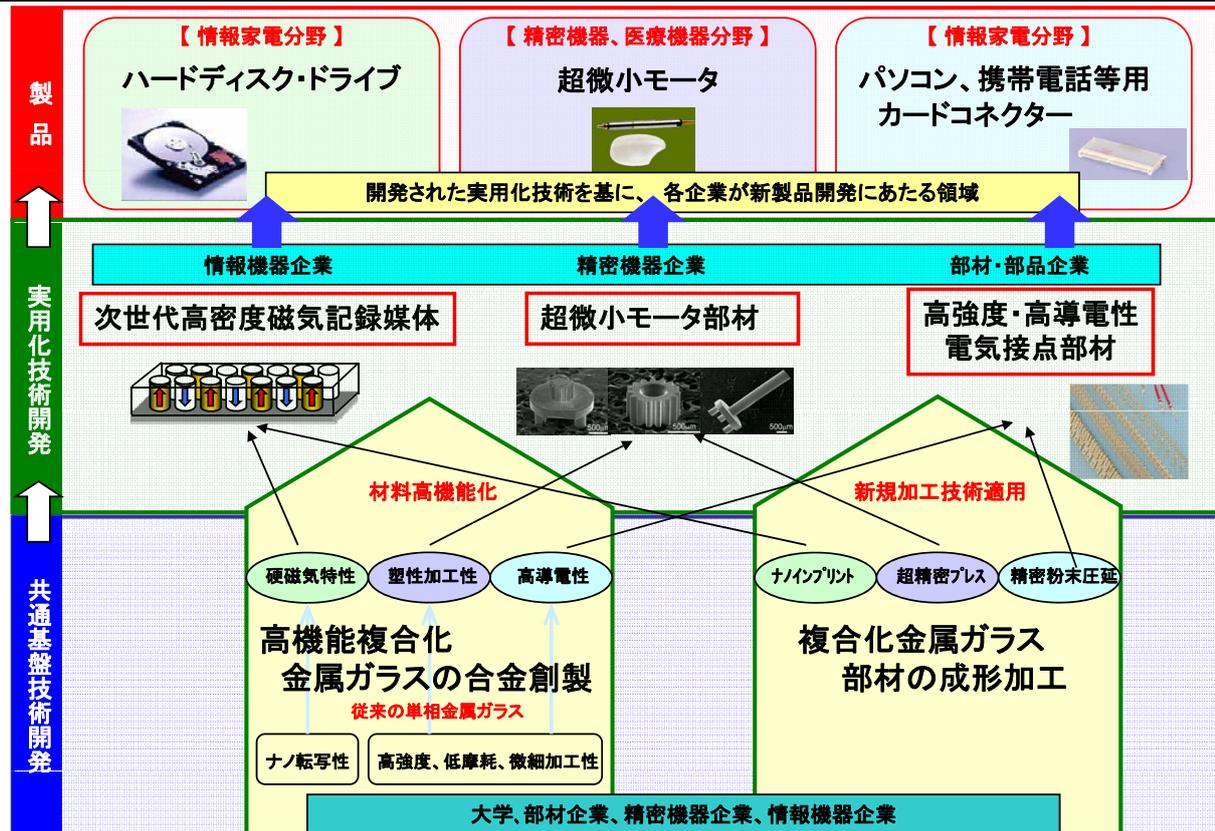
ナノテク・部材イノベーションプログラムの目的

ナノテクによる非連続技術革新

あらゆる分野に対して、高度化・不連続な革新をもたらすナノテクノロジー・革新的部材技術を確立する。

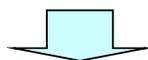
世界最強部材産業による価値創出

我が国の部材産業の強みを更に強化することで、他国の追従を許さない競争優位を確保するとともに、部材産業の付加価値の増大を図る。



金属ガラスによる新金属文明の早期幕開け

- 我が国発の先導的研究
- 我が国が得意とする部材開発の競争力強化につながる
- 情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどあらゆる分野に適用できる可能性を秘めている
- 出口製品に直結した連携重視開発が必要研究
- 開発の難易度: 高
- 投資規模: 大 = 開発リスク: 大



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

費用対効果

開発費用の総額: **約19億円(5年間)**

市場の効果(平成26年度)

総額: 43, 130億円

内訳:ハードディスクドライブ	43, 000億円
超微小モータ組込み装置	110億円
高性能微細カードコネクタ	20億円

研究開発項目

【共通基盤技術】 100%委託事業

- ①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術
- ②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術
- ③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術

金属ガラス相と第二相を複合化させることで複合化金属ガラス合金を創製し、従来の金属ガラス単相合金の持つ優れた特徴に加えて、硬磁気特性、塑性加工性、高電気伝導性等の特性を付加。

【実用化研究】 助成事業(助成率1/2)

- ④次世代高密度磁気記録媒体の開発
- ⑤超微小モータ用部材の開発
- ⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発

複合化金属ガラスの持つ新規な特性を用いて、従来の金属ガラス単相合金では為し得なかった革新的部材の開発を行い、さらに多様な工業製品に応用することで我が国産業の優位性を確保。

技術戦略マップでの位置づけ

部材分野／情報家電

2-06-01	記録部材	新規不揮発性メモリー	高密度、信頼性	無機系不揮発性メモリー、フォトロミック有機分子
2-06-02		超高密度ハードディスク、大容量光ディスク	表面化学特性制御、磁気特性制御(高磁化特性、軟磁性特性等)、多層構造特性発現、均一薄膜形成(高比剛性(低モーメント性)、微細転写性)	フレイク系基板適合低誘電率材料、マンガン系精密製造部材、磁気記録材料(高機能複合化金属ガラス)
2-03-01	実装部材	封止、接着部材	加熱制御防止、外部衝撃緩衝、非吸水性	熱膨張率制御複合材料、有機材料、分子配向性有機無機複合水バリア材料
2-03-02		基板部材	高周波配線対応、耐熱性向上、平滑性、親和性(界面制御)、高精密性	セラミックス、有機無機複合、環状・縮環系耐熱樹脂、複合材料、有機材料
2-03-03		高リサイクル・環境適応部材	リサイクル性、審美性、電磁波遮蔽性、有害物質非含有	高機能軽量磁体(マグネシウム・リチウム系電磁波吸収材)、Cr freeハンダ、Be-free銅合金(高機能複合化金属ガラス)

部材分野／環境・エネルギー分野等

4-11-01	ロボッ	骨格用構造材	高弾性、強靱性、高比剛性、高比強度	バネ材料(金属材料、高分子材料)、軽量骨格材料(セラミックス、有機無機複合材料)、重量骨格材料(金属材料、セラミックス) 軽量金属(マグネシウム・チタン)構造部材
4-11-02		駆動部材	繰返特性・高出力、超微細駆動制御、圧電変換、高速応答性、低ヒステリシス性、圧電変換機能	高弾性変形、自己修復材(エラストマー、ゲル材料)形状記憶金属人工筋肉(ニッケル-チタン等)、圧電変換材(高分子材料)、超微小ギア(高機能複合化金属ガラス)

事業の目標

【共通基盤技術】

①複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術

中間目標

1平方インチ当り600ギガビット(ドット径:16nm程度、ドット間隔:33nm程度)の密度となるナノパターン形成技術を開発し、異方性磁界を10kOe以下、飽和磁化を500emu/cc程度の特性を持つ硬磁性複合化金属ガラスを用いて、評価可能な程度の微小サンプルを試作して、磁気記録特性を確認する。

最終目標

1平方インチ当り2テラビット(ドット径:9nm程度、ドット間隔:18nm程度)の密度となるナノパターン形成技術を開発し、異方性磁界を15kOe以下、飽和磁化を500emu/cc程度の特性を持つ硬磁性複合化金属ガラスを用いて、評価可能な程度の微小サンプルを試作して、磁気記録特性を確認する。

事業の目標**【共通基盤技術】****②複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術****中間目標**

圧縮強さが1650 MPa以上で、圧縮応力下での塑性伸びが5%以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、直径が0.3mm以下で、寸法精度が $\pm 2\mu\text{m}$ 以下の超々精密な遊星ギヤ等が作製できるような基盤技術を開発する。

最終目標

圧縮強さが1650 MPa以上で、圧縮応力下での塑性伸びが10%以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、直径が0.3mm以下で、寸法精度が $\pm 1\mu\text{m}$ 以下の超々精密な遊星ギヤ等が作製できるような基盤技術を開発する。

事業の目標**【共通基盤技術】****③複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術****中間目標**

引張強度が1200MPa以上で、導電率が30%IACS以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、板厚が0.1mm程度で、板幅が10mm以上の精密薄板を作製する。

最終目標

引張強度が1500MPa以上で、導電率が60%IACS以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、板厚が0.05mm程度で、板幅が50mm以上の精密薄板を作製する。

事業の目標

【実用化研究】

④次世代高密度磁気記録媒体の開発

最終目標

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、記録密度が1平方インチ当り2テラビットの超高密度磁気記録媒体を開発する。

⑤超微小モータ用部材の開発

最終目標

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、現状の世界最小ギヤードモータ用ギヤと比べて1/2の大きさの超々精密ギヤを使用し、モータ全体の体積が1/3以下の超微小モータを開発する。

⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発

最終目標

共通基盤技術研究において開発された成果をもとに、コネクタのピッチもしくは高さが現状の1/2となる微細カードコネクタを開発する。

研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標	設定根拠
①硬磁性・ナノ構造部材技術	1平方インチ当り600ギガビット(ドット径:16nm程度、ドット間隔:33nm程度)の密度となるナノパターン形成技術を開発し、異方性磁界を10kOe以下、飽和磁化を500emu/cc程度の特性を持つ硬磁性複合化金属ガラスを用いて、評価可能な程度の微小サンプルを試作して、磁気記録特性を確認する。	ロードマップでは、媒体磁気記録密度は、平成26年度には1平方インチ当り2テラビットと策定されている。この目標を達成するため、平成21年度末(中間時点)で1平方インチ当り600ギガビット(ドット径:16nm程度、ドット間隔:33nm程度)、さらに、平成23年度末(最終時点)で1平方インチ当り2テラビット(ドット径:9nm程度、ドット間隔:18nm程度)を達成できる十分な磁気記録特性を持つ複合化金属ガラスを創製し、磁性粒子をインプリント加工できる超微細金型の加工技術および金属ガラスを被転写材としたインプリント技術の開発とともに、これらの技術を組み合わせて作製した微小サンプルを用いて磁気特性を確認する。

研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標	設定根拠
②高強度・超々精密部材技術	圧縮強さが1650 MPa以上で、圧縮応力下での塑性伸びが5%以上の複合化金属ガラス合金の創製し、現状の世界最小ギヤードモータに比べて直径が1/2(0.3mm以下)、寸法精度が±2μm以下の超々精密ギヤ等を作製する。	単相金属ガラスと同等の1650 MPaとした。また、創製する複合化金属ガラスは、十分な塑性変形能を有し、精密プレス成形で破壊することなく歯形が加工可能であることから、圧縮応力下での塑性伸びを5%以上(中間目標)とした。また、 実用化技術で開発を目指す直径0.9mmの超微小モータ用ギヤボックスの基本的な検討から、遊星ギヤ等の直径は0.3mm以下である必要がある。ギヤボックスの試作組立性を考慮すると、遊星ギヤ等の寸法精度は±2μm以下である必要があると見積もられた。

研究開発目標と根拠

研究開発項目	中間目標	設定根拠
③高強度・高導電性部材技術	引張強度が1200MPa以上で、導電率が30%IACS以上の複合化金属ガラス合金の創製を行い、板厚が0.1mm程度で、板幅が10mm以上の精密薄板を作製する。	銅-ベリリウム合金に匹敵する引張強さ(1200 MPa)と導電率(30 %IACS)を有する複合化金属ガラス合金の創製し、現状の携帯電話等に用いられている小型カードコネクタのピッチもしくは高さを現状の2/3にすることが可能な高精度の薄板を作製する。

研究開発のスケジュール

	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度	目標製品
①硬磁性・ナノ構造部材技術 合金創製 超高密度パターン形成技術	磁気特性と粘性流動加工性を併せ持つ合金の探索					 次世代高密度磁気記録媒体
	金型製作・ナノインプリント方法の基礎検討		ナノインプリント方法の最適化			
④次世代高密度磁気記録媒体の開発	実用化検討					
②高強度・超々精密部材技術 合金創製 超々精密ギヤ等の成形技術	高強度と塑性変形能を併せ持つ合金の探索					 超微小モータ
	精密プレス加工での金型成形、ギヤ成形基礎検討		加工精度の向上			
⑤超微小モータ用部材の開発	実用化検討					
③高強度・高導電性部材技術 合金創製 精密薄板作成技術	高強度と高導電性を併せ持つ合金の探索					 微細カードコネクタ
	精密温間圧延の基礎検討		圧延精度の向上			
⑥高強度・高導電性電気接点部材の開発	実用化検討					

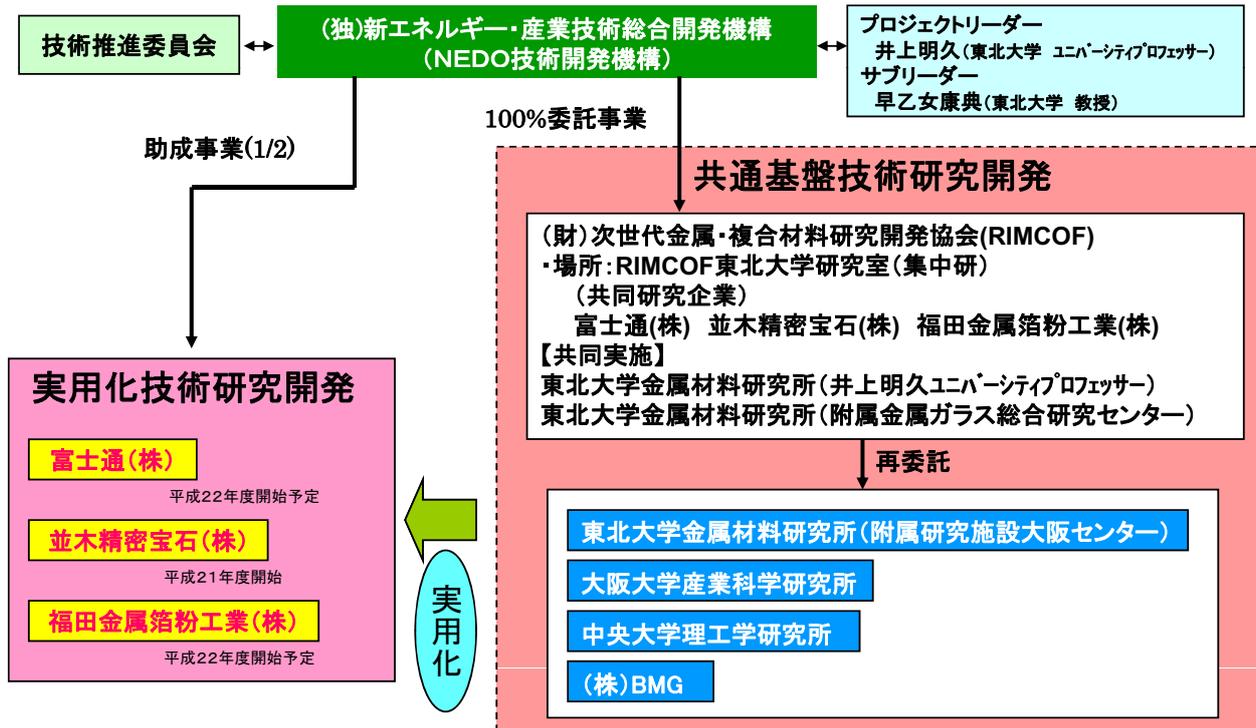
開発予算

(単位:百万円)

研究開発項目		平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度 (予定)	平成23年度 (予定)	合計
委託	①硬磁性・ナノ構造部材技術						
	②高強度・超々精密部材技術	350 (145)	323 (30)	289	385	323	1845
	③高強度・高導電性部材技術	加速	加速				
助成	④次世代高密度磁気記録媒体					15	15
	⑤超微小モータ用部材			4	22	10	36
	⑥高強度・高導電性電気接点部材				5	11	16
合計		495	353	293	412	359	1912

※下段の数字は加速資金
 ※NEDO講座費用は含まず
 ※助成事業は1/2助成額

研究開発の実施体制



研究開発の運営管理

・「技術推進委員会」開催

外部の専門家、有識者等によって構成される技術推進委員会を設置し、プロジェクトの目標達成度を把握するとともにプロジェクトの資源配分の判断に資することを目的とする。

開催実績 第一回：平成20年7月14日

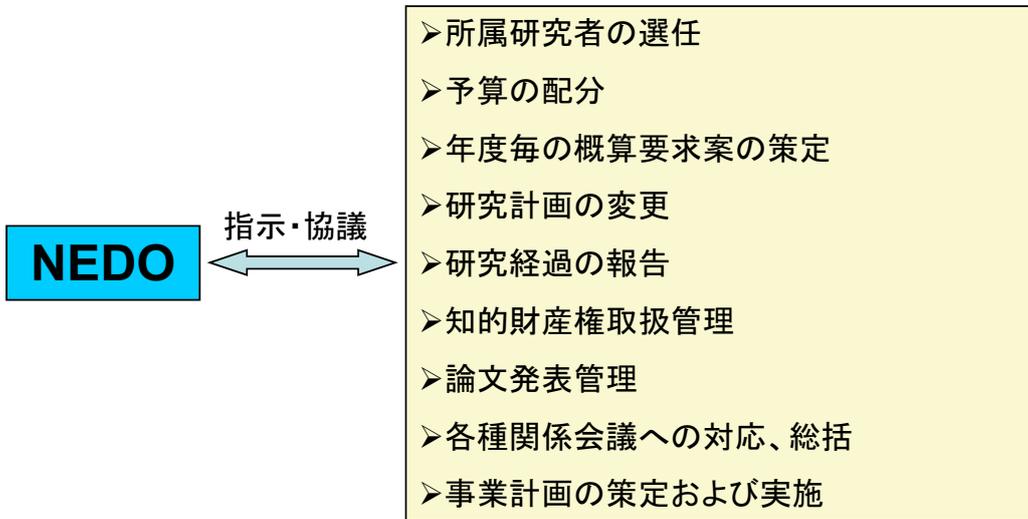
立場	氏名	所属・部署	役職
委員長	木内 学	木内研究室	代表
委員	田上 勝通	TDK株式会社 SQ研究所	所長
〃	肥後 矢吉	東京工業大学 精密工学研究所	教授
〃	丸山 正明	日経BP社 産学連携事務局	プロデューサー

・その他、以下の委員会を開催

「総合技術委員会(年3回)」研究内容の進捗状況確認と今後の方針を協議

「研究グループ会議(月2回以上)」研究開発項目毎の詳細な進捗状況確認

プロジェクトリーダーの役割



加速財源投入実績

年度	金額(百万円)	内容	成果
平成19年度	145	設備導入 ・組成探索用スパッタ成膜装置 ・ナノインプリント装置 ・電界放出型走査電子顕微鏡	磁気特性とナノ加工が可能な軟化特性を合わせ持つ金属ガラス薄膜の作製に成功し、微小サンプル上でのナノパターンの形成が可能になった。また、ナノパターンの詳細な形状解析により、実験へのフィードバックが可能になった。
平成20年度	30	金型購入 設備導入 ・精密温間圧延装置用混合粉末予備固化装置 ・超音波焼結圧延装置	均一に粉末化および混合し、固化成形前にまえて材料を予備加熱することが可能となった。さらに超音波振動モードが制御された圧子が揺動回転振動することで、効率的な固化焼結が可能となった。固化条件を精密に制御することにより、材料の表面酸化を抑制した状態で、粉末形成から精密圧延にいたるプロセスを一貫して実施することが可能になった。

HDD業界の動向

FUJITSU PRESS RELEASE

ハードディスクの記憶媒体事業の譲渡・譲受に関する基本合意について
2009年2月17日
昭和電工株式会社
富士通株式会社

昭和電工株式会社(以下、「昭和電工」という。)、富士通株式会社(以下、「富士通」という。))は、2009年第2四半期中(2009年4月1日～6月30日)の実施を目前に、富士通の子会社である株式会社山形富士通(以下、「山形富士通」という。))が営むハードディスク記憶媒体(以下、「メディア」という。))事業を昭和電工に譲渡することで基本合意いたしました。

富士通は新会社を設立し、山形富士通が営むメディア事業を新会社に承継させた上で、富士通の保有する新会社の全株式を昭和電工に譲渡いたします。今後、昭和電工と富士通は本年3月末までの最終契約の合意、第2四半期中(2009年6月30日まで)の譲渡完了を目前に、詳細条件に関する協議を続けてまいります。

山形富士通は、サーバ用ハードディスクドライブ向けのアルミメディア製造、ならびにモバイルパソコン、車載用ハードディスクドライブ向けのガラスメディアの開発・生産を行っており、その生産全量を親会社である富士通に販売しています。

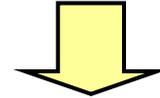
昭和電工は山形富士通のメディア事業を承継することで、サーバ用メディア事業を強化し、安定的取引先を確保いたします。また昭和電工は山形富士通および富士通が保有するメディアに関わる研究開発、製造ノウハウ、知的財産など技術的蓄積を取得し、昭和電工の独自技術との融合により技術力をさらに強化してまいります。

ハードディスク市場は、ノートパソコンおよびデジタル家電向けを中心に今後も高い成長が見込まれております。またハードディスクの記憶容量は今後も急速な増加が見込まれ、ハードディスク大容量化のための次世代磁気記録技術の研究開発と、お客様であるドライブメーカー各社への迅速なサポートが不可欠となっております。

平成21年度2月17日

集中研メンバー&予定助成事業者である富士通(株)が

HDD事業撤退を表明

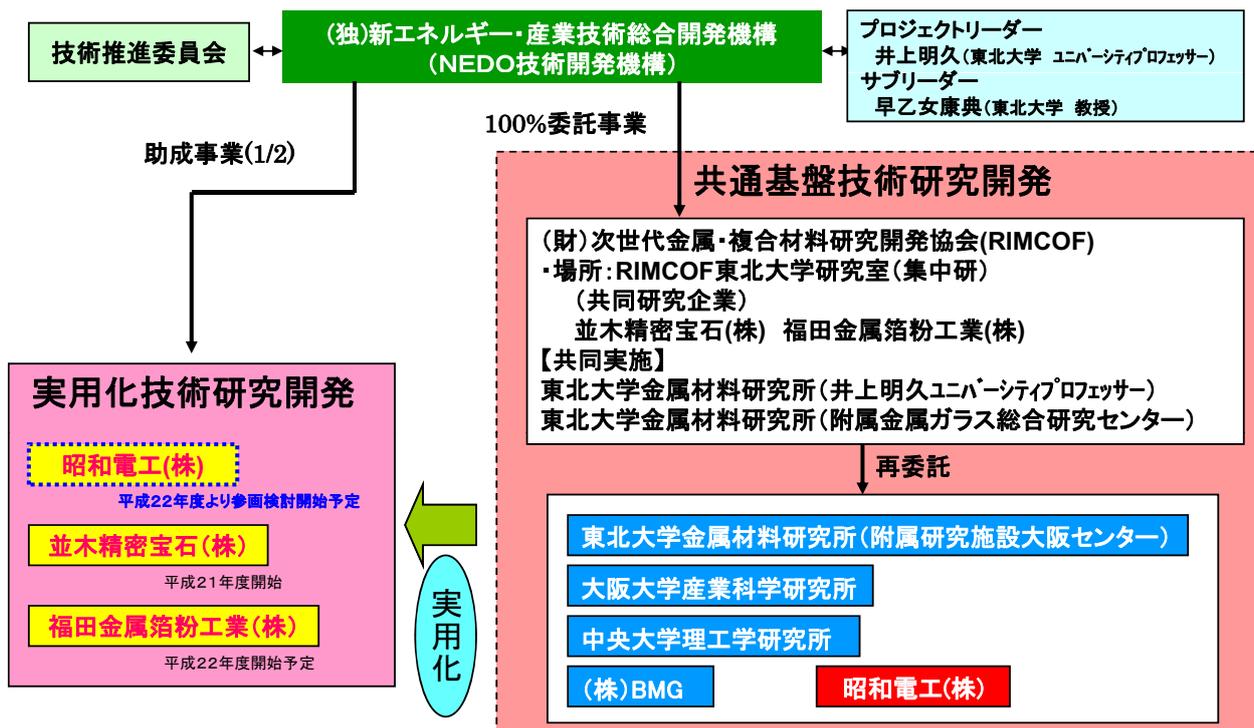


実施体制の変更

再委託先として昭和電工(株)に
参画いただいた。

実用化の立場から磁性媒体の
特性評価を担当。

研究開発の実施体制の変更



プロジェクトの概要説明(その2)

III. 研究開発成果

(1) 開発目標と達成度

(2) 検討内容

- ・複合化金属ガラスの位置づけ
- ・複合化金属ガラスの創製方法
- ・複合化金属ガラスを用いた出口イメージ
- ・特筆すべき研究成果
- ・成果の普及と知的財産権の取得状況

IV. 実用化の見通し

(1) 実用化までのシナリオ

- ・硬磁性・ナノ構造部材
- ・高強度・超々精密部材
- ・高強度・高導電性部材

(2) 波及効果

29 / 46

III. 研究開発成果について (1) 開発目標と達成度

公開

研究開発項目毎の中間目標値と達成度

区分	研究開発項目	中間目標値	*達成度	根拠
共通 基盤 技術	①硬磁性・ナノ構造 部材技術	異方性磁界 10 kOe 以下 飽和磁化 500 emu/cc 程度	◎	Co/Pd多層膜(ベタ膜)にて、異方性磁界7.2 kOeと飽和磁化540 emu/ccを確認。
		ドット径 16 nm ドットピッチ 33 nm	◎	FIBデポジション+ドライエッチングによりDLC/Al ₂ O ₃ 基板上にドット径12 nm、ピッチ25 nm(1 Tbit/in ² 相当)で高アスペクト比の金型創製に成功(世界最高水準)。
		ドット径 16 nm ドットピッチ 33 nm	◎	超微細パターン金型を用い、Pd基金属ガラス薄膜上にドット径12 nm、ピッチ25 nm(1 Tbit/in ² 相当)の創製に成功。
	②高強度・超々精密 部材技術	圧縮強さ 1650 MPa 以上 圧縮塑性伸び 5% 以上	◎	Zr-Al-Ni-Pd系複合化金属ガラスで、圧縮強さ1690 MPa、圧縮塑性伸び8.5%を達成。
		直径 0.3 mm 以下 寸法精度 ±2 μm 以下	◎	技術導入したホブ加工により直径0.296 mmの遊星歯車を寸法精度±2 μm達成を確認。創製した遊星歯車を用いて一段減速ギヤヘッドの構築に成功。
	③高強度・高導電性 部材技術	引張強さ 1200 MPa 以上 導電率 30 %IACS** 以上	◎	Cu基金属ガラス粉末と電解Cu粉を押出法により混合固化した複合化金属ガラスが引張強さ1202 MPa、導電率30%IACSを達成。さらにCu-Zr-Ag系複合化金属ガラスを新たに開発。
		板厚 0.1 mm 程度 板幅 10 mm 以上	◎	新たに開発したCu-Zr-Ag系複合化金属ガラスを冷間圧延、熱処理することにより、板材寸法を達成しながら引張強さ1257 MPa、導電率31%IACSで伸び3.7%を達成(業界最高水準)。

*達成度の定義:◎現時点で既に達成。○今年度中に達成見込み。△プロジェクト終了までに達成、×達成見込み無し

**国際標準焼きなまし銅(IACS)の導電性を100%とした時の導電性の比を百分率表示

複合化金属ガラスの位置づけ

「金属ガラスの成形加工技術」プロジェクト(平成14-18年度)



並木精密宝石(株)

マイクロギヤードモータ
微細成形性、高強度、低摩耗



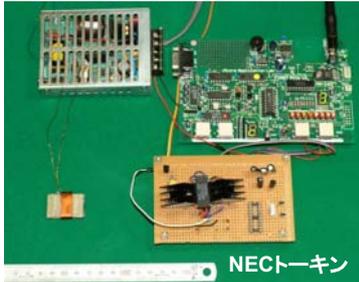
長野計器(株)

一般産業用 車載用
圧力センサ
高強度、高弾性限、低ヤング率



東京計装(株)

コリオリ流量計
高強度、低ヤング率、薄肉成形性



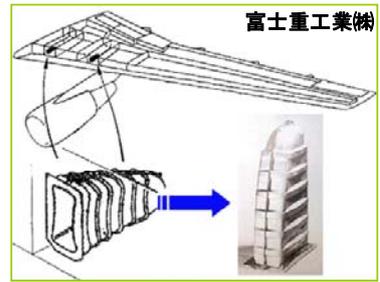
NECTーキン

リニアアクチュエータ
高飽和磁束密度、高透磁率、低保磁力



富士重工業(株)

自動車用バルブスプリング
高比強度、高弾性限、低ヤング率



富士重工業(株)

航空機用各種部材
高比強度、高弾性限、高疲労寿命

複合化金属ガラスの位置づけ

「金属ガラスの成形加工技術」プロジェクト(平成14-18年度)



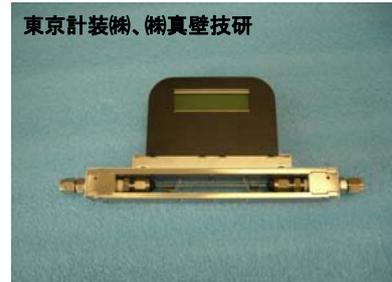
並木精密宝石(株)

マイクロギヤードモータ
微細成形性、高強度、低摩耗



長野計器(株)

一般産業用 車載用
圧力センサ
高強度、高弾性限、低ヤング率



東京計装(株)、(株)真壁技研

コリオリ流量計
高強度、低ヤング率、薄肉成形性

↓

実用化助成事業
(平成19-20年度)

直径1.5 mmマイクロギヤードモータを合計41台供与し、実装評価中。
平成24年量産化予定。

高飽和磁束密度、高透磁率、低保磁力

↓

実用化助成事業
(平成19-20年度)

製品化に向けた品質と信頼性を向上させるための量産技術の構築、現在も継続。
平成23年サンプル提供・製品化予定。

高比強度、高弾性限、低ヤング率

↓

継続研究
(平成19-20年度)

センサチューブの疲労強度特性の向上について検討、現在も継続。
平成24年量産化予定。

高比強度、高弾性限、高疲労寿命

複合化金属ガラスの位置づけ

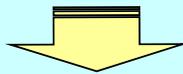
従来の単相金属ガラス

構造

- ・稠密無秩序な原子配列
- ・中長範囲に等方均質な組織

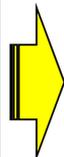
特徴

- ・高強度 (2,000 MPa)
- ・低ヤング率 (100 GPa)
- ・高弾性限界伸び (2%)
- ・超微細精密成形性
- ・粘性流動 (20000%)



応用可能分野 (前プロジェクト)

- ・超精密ギヤ部材
- ・圧力センサ用ダイヤフラム
- ・コリオリ流量計用パイプ



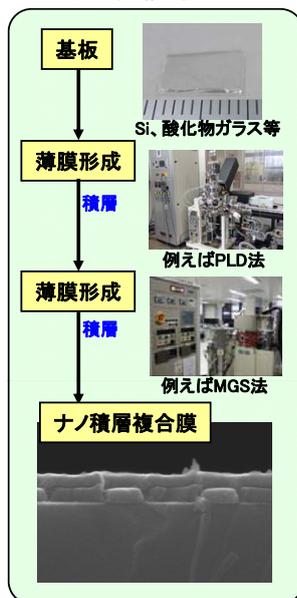
金属ガラスに対する産業界からの要望

- ・ナノレベルでの構造化と機能性発現への期待
異種薄膜金属ガラスのナノ構造創製と複合化
(機能性薄膜金属ガラス, ナノプリント)
→ ナノ規則複合構造による超高密度デバイス創製
- ・塑性変形能、2次加工が必要
金属ガラス母相よりナノ粒子を析出制御
(形態、量、分散状態、母相との界面)
→ すべり系・亀裂進展制御による塑性変形能
- ・高強度と材料機能の両立: 新材料への期待
固体・液体・気体等の第2相粒子導入・分散制御
(第2相物質、形態、量、分散状態、異相界面)
→ 密度, 弾性係数, 減衰能, 変形能, etc.
→ 電気・熱伝導度, 電磁特性, etc.

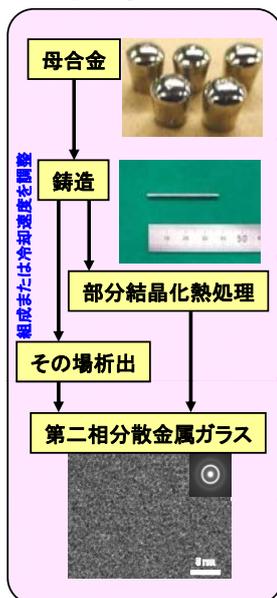
新たな構造・機能特性の発現
⇒ 次世代複合化金属ガラス

複合化金属ガラスの創製方法

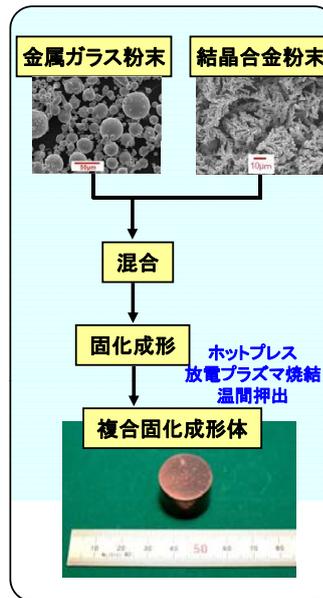
薄膜積層法



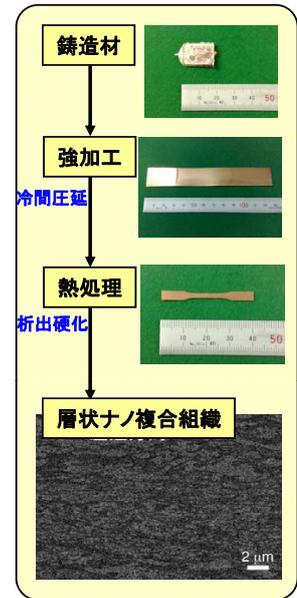
その場析出法



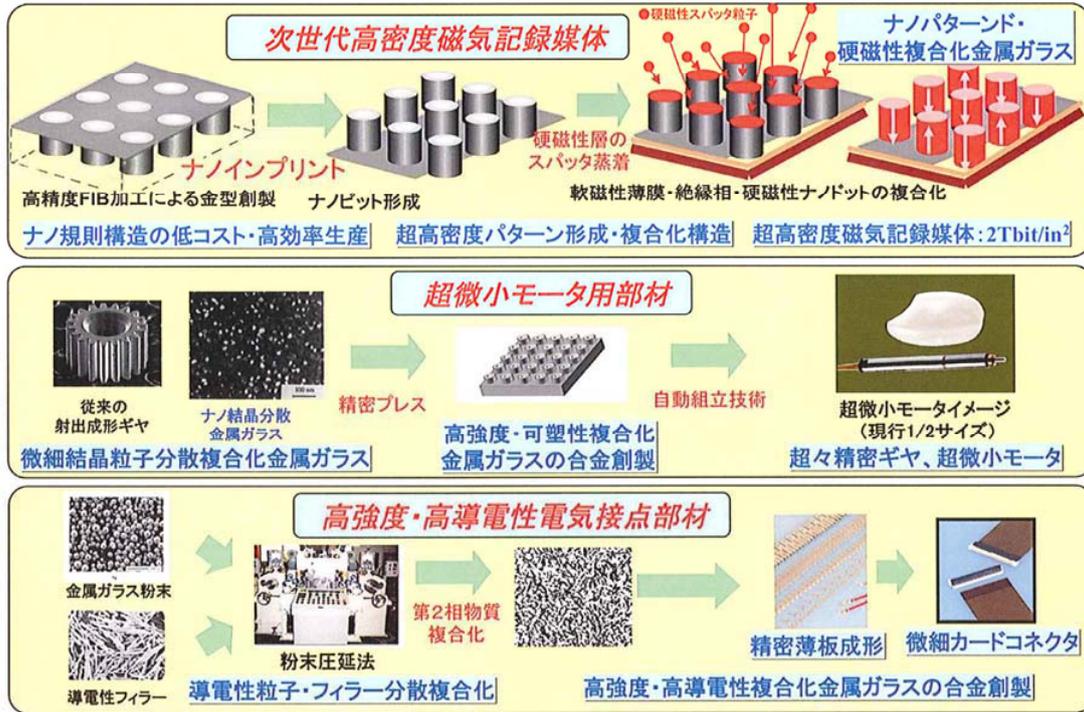
粉末固合法



強加工法



複合化金属ガラスを用いた出口イメージ



特筆すべき研究成果 ①硬磁性・ナノ構造部材

硬磁性記録層

Si sub. // Pd(1 nm) / [Co(0.3 nm) / Pd(1 nm)]₁₀

Magnetization, M/emu·cc⁻¹

Magnetic field, H/Oe

Co/Pd多層膜を選定
 異方性磁界7.2 kOe(ベタ膜)、飽和磁化540 emu/ccを確認。
 中間目標を達成!

非磁性金属ガラスインプリント層

Pd₂₀Cu₂₀Ni₁₀P₁₀ melt-spun ribbon

Exothermic

Temperature, T/°C

明瞭なガラス遷移を確認し、インプリント加工性を実証

超微細パターン金型

Pitch: 33nm

Pitch: 25nm

25nm

ドット径12 nm、ピッチ25 nmの高アスペクト金型 (1 Tbit/in²相当) の創製に成功。
 中間目標を達成! (世界最高水準)

超微細インプリントパターン

(a)

(b)

100 nm

20 nm

1 Tbit/in²相当のナノパターンをインプリントにより創製。中間目標を達成!

媒体用複合積層膜

50 nm

媒体を構成する複合積層膜を創製。

磁気ドットの磁化反転挙動

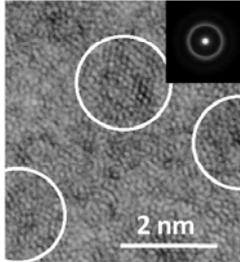
+6 kOe
 一方向飽和磁化状態

-1 kOe
 磁化反転開始

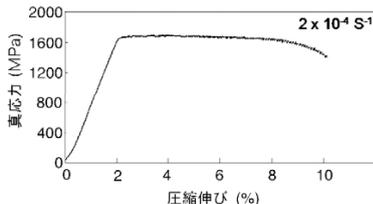
600 Gbit/in²相当のパターン上に硬磁性記録層を成膜磁化反転挙動を確認。

特筆すべき研究成果 ②高強度・超々精密部材

Zr-Al-Ni-Pd複合化金属ガラス

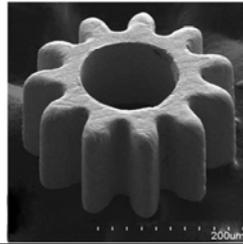


Zr-Al-Ni-Pd系複合化金属ガラスのHR-TEM組織



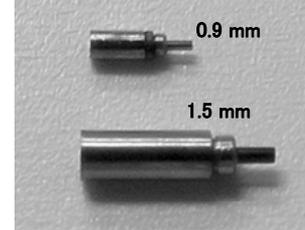
圧縮強さ: 1690 MPa、圧縮塑性伸び: 8.5%
を確認。中間目標を達成!

ホブ加工による遊星歯車



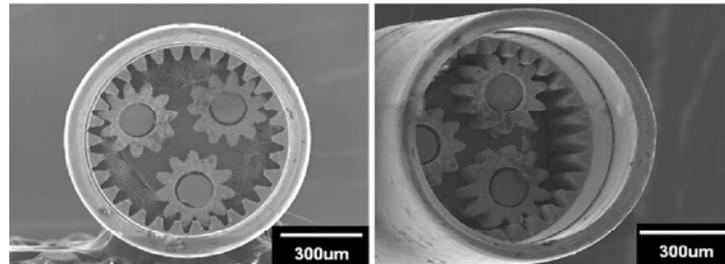
Zr基金属ガラスを用い、ホブ加工により直径
0.3 mm遊星ギヤの作製に成功。
歯形形状測定により寸法精度±2 μmを確認
し、中間目標を達成!

試作ギヤヘッド(1段)



計画を前倒し、一段ギヤヘッドを
構築!(世界最小)

試作ギヤヘッドの回転動作確認



構築したギヤヘッドのスムーズな回転を確認!

特筆すべき研究成果 ③高強度・高導電性部材

Cu-Zr-Ag非平衡結晶合金(強加工法)



金型鑄造材外観

板厚0.12 mm、板幅20 mmを達成



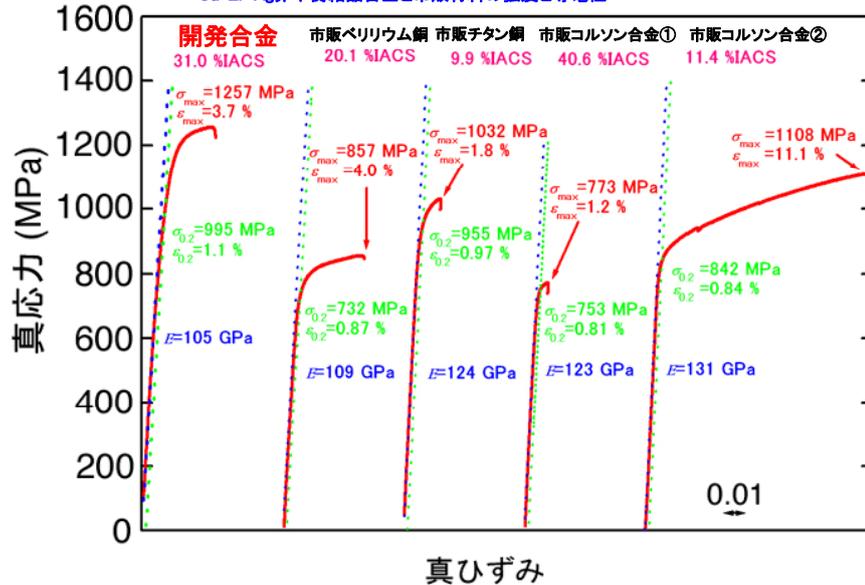
冷間圧延材外観



打抜き試料外観

↓
熱処理

Cu-Zr-Ag非平衡結晶合金と市販材料の強度と導電性



非平衡結晶合金に強加工(冷間圧延)でひずみを導入し組織を微細化すると共に
熱処理で析出硬化及び再固溶化させることで強度と導電性を両立。

板幅、板厚と共に強度と導電性の中間目標を達成!(業界最高水準)

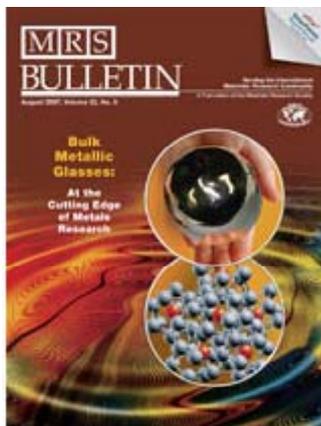
成果の普及と知的財産権の取得状況

外部発表件数一覧

	平成19	平成20	平成21	平成22	平成23	計
展示会等	0	3	0			3件
報道記事	0	0	0			0件
論文(査読付)・著書	6	20	1			27件
口頭発表	31	39	3			73件
特許出願	0	4	1			5件
受賞	0	1	0			1件

注目すべき外部発表成果

MRS Materials Research Society
 August 2007
 printer-friendly
 Bulk Metallic Glasses: At the Cutting Edge of Metals Research
 Volume 32, No. 8

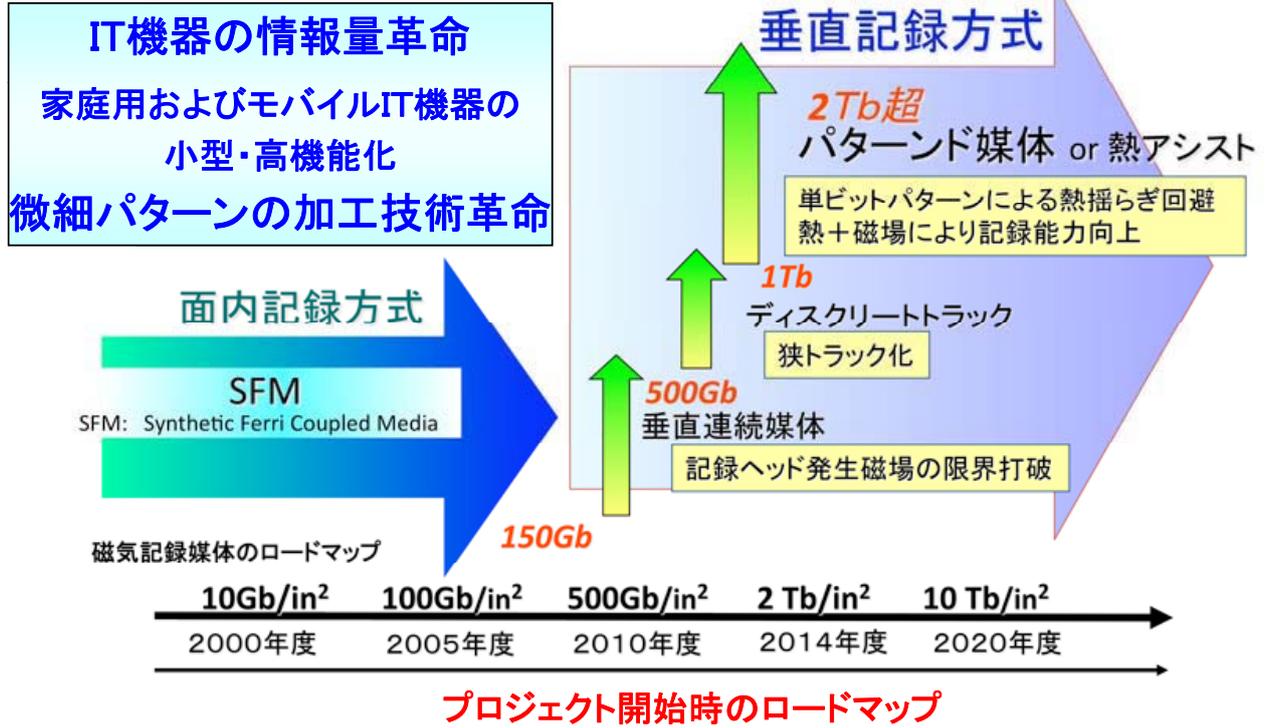


Theme Article - New Bulk Metallic Glasses for Applications as Magnetic-Sensing, Chemical, and Structural Materials
 651-658 [Akihisa Inoue and Nobuyuki Nishiyama](#)



RIMCOF東北大学研究室
 竹中特別研究員 受賞

硬磁性・ナノ構造部材の将来展望



高強度・超々精密部材の将来展望

医療機器の技術革命

先端医療機器用
低侵襲検査・治療デバイス

内視鏡



DCAカテーテル



血管内視鏡

バイオ研究



マイクロロボット



航空宇宙



平成22年度

平成27年度

平成30年度

設計・試作・市場開拓を考慮したロードマップ

高強度・高導電性部材の将来展望

接点部材の材料革命

- ・強度と導電性の高次元バランス
 - ・RoHS規制、REACH規則に対応
- ベリリウム(Be)フリー接点材料



SIMカード(SCG)コネクタ
(GSM*携帯電話向け超低背型)



狭ピッチ、低背型コネクタ



バッテリー用(BTC)コネクタ
(1.7 mmストローク、1万回挿抜)

ベリリウム銅各種導電コネクタ

ベリリウム(Be)フリー接点材料

平成20年度

平成25年度

平成30年度

設計・試作・市場開拓を考慮したロードマップ

複合化金属ガラスが展開可能な新領域

医療用デバイス

ドラッグ・デリバリー・ニードルアレー

検査&治療用マイクロロボット

バイオ産業用ナノピラー

情報・光学機器用デバイス

ディスプレイ用光学素子

光学ホログラフィー

高記録密度媒体スタンプ

一般産業用デバイス

マイクロ流量計測ポンプ

ナノアクチュエータ

LOC, μ TAS