

設計、製造、加工分野

地球環境問題を解決するためには、大量生産、大量廃棄型の生産システムから脱却して、安定した循環システムを有する持続可能な社会を構築していく必要がある。また、持続可能な社会において、競争力ある製造業では、単に設計、製造だけを行うだけでなく、製品企画、設計、生産、販売から使用サポート、回収、再利用/廃棄という製品ライフサイクル全体を視野に入れ、環境との調和を計りながら経済性を追求する事業活動(サステナブル・マニファクチャリング)が要求される。ここでは主に、設計と加工、組立てなどの製造分野に着目して、製品ライフサイクル全体を視野に入れ、サステナブル・マニファクチャリングの重要技術を取上げる。

当該分野は、現在、日本の製造業として高い技術力のもとに国際展開している機械、電機、輸送機器、精密機械工業などの事業活動と密接に関係しており、新規の技術開発と技術の継承とを通じて将来にわたって発展していくことが望まれている。今後のこれらの産業の発展を考えると、従来からの機能・性能重視に加えて、環境重視・人間重視の技術革新・社会革新としてのイノベーション(エコイノベーション)が求められている。

技術戦略マップの策定に関しては、現在進行中の技術の発展、延長や社会活動の継続を前提にして、未来社会をイメージして技術要素を抽出してマップを作る方法と、将来の理想的なサステナブル社会像を描き出し、その中から技術要素を抜き出す方法の両方法の長所を生かして技術戦略マップの作成作業を行った。

今回の作業は、サステナブル・マニファクチャリングの進展に資するための技術戦略マップ策定の第一歩であり、今後内容の一層の充実を図って行けば、活用場面の更なる広がりが期待できる。

設計、製造、加工分野の技術戦略マップ

．導入シナリオ

(1) 設計、製造、加工分野の目標と将来実現する社会像

現在、設計、製造、加工分野においてもサステナビリティが求められていることは言うまでも無い。サステナブル・マニュファクチャリングという技術体系において特徴的なことは、現状の技術の単純かつ無批判な進展のみでは社会的な要請に対応できないという点である。従って、サステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップ策定作業とは目標となる未来像を定めた後に、そこへ至る道筋を描く作業となる。

いまサステナブルな設計、製造、加工（サステナブル・マニュファクチャリング）を考えたときに、その進展は、2015年頃を境にそれ以前の近未来とそれ以降の将来とで二つに区分できるものと考えた。

2015年までの近未来では各個別研究主体（大学、公的研究機関、企業等）による要素技術の研究開発と成果の実用化を既存の枠組みのなかで進めることでサステナブル・マニュファクチャリングの進展を図ることができよう。

その後、2025年ないし2030年を見据えたサステナブル・マニュファクチャリングの一層の発展には、要素技術の個別開発での限界が明らかになり、大規模な実証実験、システム構築、データベース活用などの必要性が高まり、要素技術の更なる技術開発に加えて、新たな開発プロジェクト導入などが効果を発揮するものと思われる。

その結果として、2025年ないし2030年に実現する社会の全体像としては以下を想定している。【参考資料：サステナブル・マニュファクチャリング2025年シナリオ】

- ・ 地球温暖化問題に伴う化石エネルギー使用抑制の努力にも関わらず、中国、インドなどの経済発展に伴い、世界の一次エネルギー需要は2000年の1.4倍に達している。
- ・ 国際市場・国際競争に関して日本では2015～2025の間の低成長経済が続いた結果、経済規模では、中国、インドに抜かれGDP比で世界の4%程度になる。
- ・ これらのエネルギー供給の一部を担うと期待される再生可能エネルギーについては、技術開発も進み、着実にその比率を高めているが、劇的に増加するまでには至らない。
- ・ 2050年に向けた温室効果ガス削減の数値目標は主要排出国を含んで合意されている。これに伴い、日本の排出量削減目標も設定される。（2000年比60～70%減）。
- ・ 2000年比4倍の環境効率（生産物の価値／環境負荷）を可能とする製品設計、生産技術がすでに実現しているが、全産業分野に普及するには至っていない。
- ・ 日本における温室効果ガス排出量の削減目標は、人口減少、産業の海外流出、製造業を中心とした各産業のリーン化、製品のリデュース・省エネ化、排出権取引、炭素税、CO₂貯蔵の組み合わせにより達成される。

- ・ この頃には資源の枯渇の問題が緊急性を増しており、2050年の低炭素社会を目指して、技術の積み上げでない新たな生活様式の確立も含めたパラダイムシフトが求められている。

また、上記の実現すべき社会状況に対応して、設計、製造、加工分野で具体的にどのような産業状況が実現しているべきかのシナリオとして策定した。以下にその要点を記す。

設計開発段階に関しては、設計段階からの部品/製品リデュースが大きく進み、寿命・品質管理技術、検査技術、リサイクル技術などの要素技術が進展し、ライフサイクル設計において合理的なライフサイクル・オプションが選択され、実施されるようになる。また、持続可能社会シミュレーションが研究、実践面で定着しており、国内的には高度なライフサイクル設計+評価+マネジメントシステムが確立される。

製造段階については、需要に応じて再構成可能な真の Reconfigurable な生産システムが開発、一部実用化が始まり、最小（エネルギー、設備、資源、コスト）での生産の考え方は多くの生産現場で導入が検討されている。ただしシステムとして導入済みの分野は限られる。（MEMS、半導体ファブリケーション、薬剤製造など）資源、エネルギーでのリーン化のための要素技術、システム化技術が進展し、この分野では我が国の製造業が依然として優位に立つ。

使用（物流・流通、生活）については、物流加工・組立の集中化による製造・輸送の統合化、ロジスティックとリサイクル/リユースビジネスの融合が起こる。また、社会インフラにおいても長期間活用し続けることができるものが競争力を持つストック型社会へと転換する。また、地震、台風などの大規模な災害、広範囲の感染症などに対するリスクマネジメントが進みつつある。

使用后（end-of-pipe）について、石油価格の高騰から、メーカーによるリユース、リサイクルなどのライフサイクル思考が経済のメカニズムに組み込まれ経営戦略となる。また、リサイクル原材料については地域ベースでのリサイクルのサードパーティ、輸出、輸入、など様々な選択肢が登場し、解体された部品、回収された材料なども供給より需要が大きくなる。

以上の社会や産業状況の実現に向けて、設計、製造、加工分野では「高付加価値化（サービス工学的）」、「ライフサイクル思考（インバース・マニファクチャリング、ライフサイクル工学的）」、「最小化（ミニマルマニファクチャリング）」、「技術の伝承（技術の見える化、技能のデジタル化など）」の4つの方向性を重点的に追求して行く必要があると考えている。

（2）研究開発の取組み

前項に記したとおり設計、製造、加工分野におけるサステナブル・マニファクチャリング実現には、以下の視点での研究開発が必要とされる。

ライフサイクル思考

製品ライフサイクル全般に視野を拡大し、様々なタイプの循環生産を実現するのに必要な要素技術と全体システムを評価／構築するのに必要な事項として、ライフサイクル設計関連の技術とプロダクトモデリングによるシミュレーションや将来社会の実現可能性評価ツールとしての持続可能社会シナリオシミュレータの開発が必要である。

高付加価値化

持続可能性達成と製品・サービスの質的向上とを両立するモノとサービスの配分の最適化として、製品価値、サービス価値の可視化とトレーサビリティの確保のための技術開発を行う。

最小化

ものづくりにおいて、時間、空間、資源、コスト、環境負荷などの最小化などに関して、リサイクル材の利用体制や需要に合わせたオンデマンド生産などに関する技術開発が必要である。

技術の伝承

競争力の源泉としての技術、知識、技能などの明示化と伝承のために、技能・知識のデジタル化、形式知化を進める必要がある。

(3) 関連施策の取組み

近未来(～2015)においては、既存の枠組みを有効に活用することでサステナブル・マニュファクチャリングの進展を支えることができる。しかし、その先 2025～30年、さらには 2050年のサステナブルな社会の実現に向けては、製品ライフサイクルデータベースの活用や企業や業界団体の自主行動計画の拡大、商業ベースでのグローバル循環システムの構築／運用などだけでなく、法整備、規制などの外部条件の整備による方向付けも必要となろう。それぞれのカテゴリーにおいて以下の施策、取組みが必要となる可能性が高い。

[規制・制度改革]

2015年頃まで

- ・環境基本法、循環型社会形成基本法をはじめとする現行の法体系の下でグリーン購入法、家電リサイクル法などの政令、省令等で定める事項の見直しを図る。また排出権取引や環境税制などに関連する制度の可能性の検討をする。
- ・業界別自主行動計画を早急に策定し、法規制などが効果をあげはじめるまで、また革新的な新技術が実用化されるまでの「つなぎ」を行う必要がある。
- ・国内排出権取引は業界別自主行動計画同様、2012年ないしその後の温室効果ガス削減の中間目標達成のために有効に活用される。

2025(30)年頃まで

- ・環境関係の法規制が本格的に効果をあげはじめる。法規制と、資源枯渇などに伴い、環境コストなどの外部経済の内部化が進展する(環境に優しい製品が経済的に有利

になる。)

- ・上記に伴い、環境に配慮した消費行動が誘導されるようになる。

〔基準・標準化〕

- ・環境 JIS の策定促進アクションプログラム（2005 年 3 月改訂）を推進し、次期計画の策定、実施を行う。

〔国際標準化〕

- ・環境関連国際規格の策定を促進する。環境適合設計（ISO）、環境会計（ISO）、電気電子機器の環境配慮設計（IEC）、「生産システムにおける環境負荷評価法」（ISO/TC184/SC5）などにおいて、部品共通化／交換容易化設計、製品解体手法、リサイクルマークなどの国際標準化を進める。

〔広報・啓発〕

2015 年頃まで

- ・「家庭」からの温暖化ガス排出が増えている状況も鑑み、環境に優しい消費行動の誘導が重要な要素となる。そのために、省エネマーク、環境ラベルにおいては定量的な評価結果に基づくラベリング（所謂 Type3 のエコラベル）が普及推進する必要がある。
- ・2015 年ごろまでエコラベルなどに含まれる環境関連情報を素早く、簡単に、消費者に提供する技術の普及が望まれる。（開発される。）
- ・自然災害対策、情報漏えい対策などの社会の安全安心を確保する技術の本格的な実用化が進められる一方、消費者側で可能な対策が十分に周知される必要がある。

2025 年ごろまで

- ・持続可能社会評価技術を実用化し、“社会がこのまま推移すると（地球環境は）どうなるのか”という情報を広範に普及させる必要がある。
- ・製品の所有と利用とに関する環境アセスメントを可能とし、製品の様々な利用形態をオプションとして提供する必要がある。

〔人材育成〕

2015 年ごろまで

- ・2007 年問題（大量退職問題）を克服すべく、これまでに蓄積した製造に係る知識、技能のデジタル化を完了させる必要がある。
- ・2025（30）年ないしそれ以降の労働人口減少の対策として、海外とのものづくり人材の交流シナリオについて社会的な合意形成を行う必要がある。

2025（30）年頃まで

- ・（上記で合意がなされた場合）設計製造加工における中核人材の海外との相互交流を進めるとともに、体系化された知識の伝達を可能とする必要がある。
- ・また、外部からの人材も含めた環境行動の誘導、広報、普及が必要となる。

〔国際連携・協力〕

2015 年ごろまで

- ・グローバルな製品循環ループの構築に向けて、中古品、破碎材料の輸出入に関する 2 国間、多国間の合意を形成する必要がある。
- ・2007 年現在問題となっている不適切な循環ループ解消のための社会システム整備が行われる必要がある。
- ・化学物質規制などを中心に、地域別に異なるルールではない国際的に共通の枠組みが導入される必要がある。
- ・IMS (Intelligent Manufacturing System) の枠組みで日本 EU 間でサステナブル・マニュファクチャリング等に関し 3 回の会議を実施し、全地域が参加する IMS/MTP (Manufacturing Technology Platform) プログラムへ発展した。今後具体的な関連プロジェクトの推進が期待される。

2025 (30) 年頃まで

- ・グローバルな環境を考えた資源の“地産地消”戦略への転換が進む可能性がある。(資源としてのリサイクル材料の確保など)これに対応した国内の社会システム(再)整備と国際合意の形成が必要となる。

・技術マップ

(1) 技術マップ

設計、製造、加工分野の技術マップにおいては、前述の通り、あるべきサステナブル社会を実現するために重要な 4 つの方向性 (LC 思考、高付加価値化、最小化、技術の伝承) を定めた。これらのベクトルを実現するために必要な方法論の観点から、9 つの技術分類を定めて、この技術分類をマップにおける中分類に代わるものとして用いることとした。最後に、通常の技術マップ的な小分類と要素技術をリストアップし、当てはまる大分類 (技術の目的)、中分類 (技術分類) に分類している。ここでいう 9 つの技術分類とは以下のとおりである。

システム化

異業種、異種の技術を横断的、統合的に考えることによってサステナビリティを実現しようとするもの。

サービス化

技術を実施する時期、どのような対象に対して実施するか、どのようなソフトウェア技術とともに提供するかなど、所謂サービス面を高度化することにより、サステナビリティを実現しようとするもの。

見える化

製品、プロセス、材料などの技術情報を明示することにより環境配慮的な行動を誘発し、サステナビリティを実現しようとするもの。

情報化・ユビキタス化

製品、プロセス、材料などの技術情報を明文化、定量化して伝達可能な情報とすることにより、サステナブル・マニュファクチャリング実現のためのキーファクターを明らかにし、技術や消費行動の環境配慮性を誘導するもの。

再利用化

第一次のライフサイクルが終了した材料、製品などを再利用することにより、中長期的に見てサステナビリティを実現しようとするもの。

代替化

材料、プロセスをより環境配慮性の高いもので置き換えることによりサステナビリティを実現しようとするもの。

バランス化

エネルギーや資源の使用などを、空間的、時間的に適切に配分することにより全体系としてのサステナビリティを実現しようとするもの。

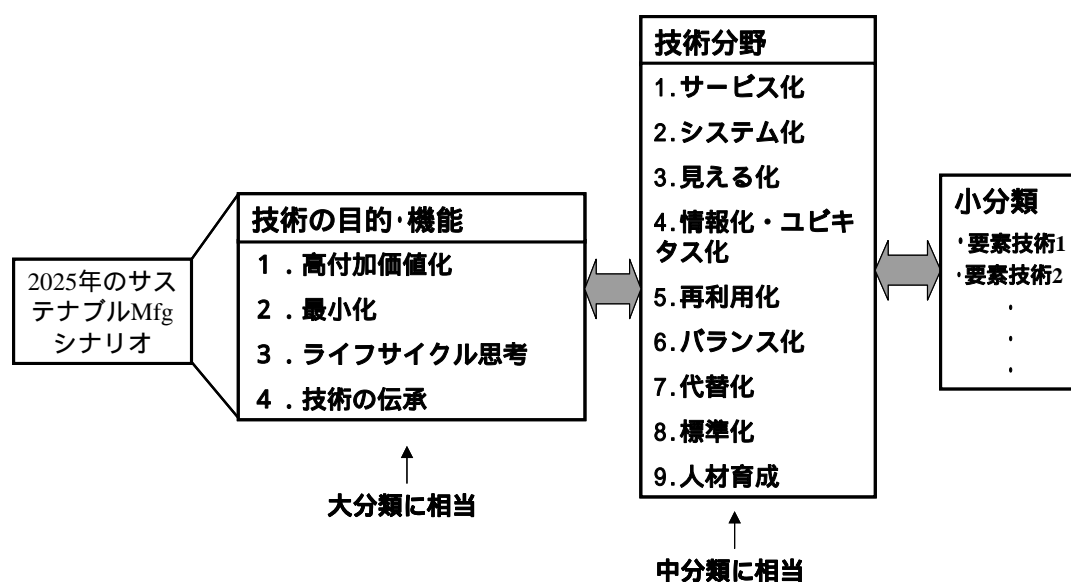
標準化

主として規格を定めたり、部品などを共通化し、間接的に上記の再利用化、リノベーションに寄与することでサステナビリティを実現しようとするもの。

人材育成

他の項目とは性質が異なるが、質の高い人材を育成したり、少子化、高齢化に起因する労働力の不足を緩和し、生活の質を維持、向上しようとするもの。

以上をまとめると、本分野における技術マップは次の図で示される階層構造となっている。



(2) 重要技術の考え方

技術マップにおいて抽出された各技術項目はいずれも不可欠であり、官民の一体的

取組みまたは民間の主体的な取組みによって積極的な開発が望まれるが、いくつかの観点から重要技術として評価されるものを抽出する作業を行った。その際、本分野における重点化評価項目としてあげたものは次の通りである。

我が国の技術的優位性、国際競争力を維持、向上させたり、生活の質を顕著に向上させることが可能かどうかの観点

- ・日本の技術競争力優位
- ・共通基盤性
- ・ブレークスルー技術
- ・市場へのインパクト
- ・基礎技術の開発が必要

直接的に地球環境問題に貢献しうるかどうかの観点

- ・エネルギー制約の打破に寄与
- ・資源制約の打破に寄与
- ・環境制約の打破に寄与

社会そのものの持続可能性に貢献しうるかどうかの観点




- ・人口制約の打破に寄与

技術マップにおいては、抽出した要素技術リストが上記の重点化評価項目のどこに相当するかを丸付けして示している。ただし、今回作成した技術マップにおいては にあげた5項目を、“高付加価値化”、“生活の質”の2項目に集約している。

以上の重点化評価の結果、特に重要と考えられる技術(小分類レベル)をマップ中に色づけして(赤で)示している。ただし、絞込みの観点は、単純に「多くの項目に が着く」ことでは無く、貢献の度合い、技術としての発展性、波及効果、なども考慮した結果である。

・技術ロードマップ

技術マップに示した重要技術ごとに、研究開発により達成されるべき事項を時間軸に示した。サステナブル・マニュファクチャリングの設計、製造、加工分野においては、分野の性質上(例えば半導体分野のように)開発スペックを時間軸上に数値で表すことは難しい。むしろ、そのようなスペックの向上ではなく、様々なトレードオフを考慮した横断的、総合的取り組みが必要という主張であることを理解されたい。従って開発目標のマイルストーンを定量的に示すことは行わず、定性的な開発目標を時間軸上に示している。

右の欄の開発の時間経過における矢印については、“”の部分の部分が事前調査、基礎開発の期間、“”の部分部分が本格開発の期間、“”の部分部分が実用化に向けての時期を表す。当然、技術の性質、内容により、これらの立ち上がり、継続、立ち下がり、部分の形状は異なり、技術によっては既に本格開発が開始されているものもあるが、本格開発の開始がかなり先になるものもある。

また、この分野ではシーズ指向で技術の抽出を行っていないため、現在ないし近未来には重要でも、2025（30）年には実用化が終了し、開発の重要性が無くなる技術、逆に将来的に重要だが、現段階でのプロジェクト化は時期尚早である技術などをロードマップ中に表現することを試みている。

上記の矢印図形の配置にはその意図も込められている。

設計・製造・加工分野の導入シナリオ

2010年

2015年

2025年

2050年

目標

2025年までに温室効果ガス排出削減の中間目標を達成する。2050年までに持続可能な低炭素かつ質の高い社会を実現する。環境コア技術を活用し、産業の国際競争力を維持する。グローバル循環社会システムの構築等に主導的役割を果たす。

民間企業の
取り組み

自社製品を対象とした環境効率評価技術の導入
高付加価値化を中心としたコア技術のブロックボックス化とグローバル市場でのマスカスタマイゼーションの同時実現
自社における技能のデジタル化、作業支援
環境ビジネスモデルの導入、実践

研究開発の取り組み

と思考

LC設計基本技術 設計現場でのLC設計の導入 広範な製品でのLC最適設計の実現
持続可能社会シナリオシミュレータの開発 シミュレータによる社会の評価
グローバル循環社会システムの構築
LCプロダクトモデリングの実現
製品コア技術のブロックボックス化、カスタマイゼーションのための技術
RF-IDの大容量化などの基本技術 製品価値、サービス価値の可視化
社会の安全安心技術(災害、健康被害、情報漏洩等) サプライチェーン全体におけるトレーサビリティの確保

高付加
価値化

オンデマンド生産のプロトタイプ製造などへの試行 実際の製品への適用
現物シミュレーション技術の実用化

最小化

一部材料でのリサイクル素材利用 素材毎のリサイクル材利用体制の確立 完全な動脈-静脈一体形生産システムの実現
省エネルギー加工プロセスの一部実現 エネルギー・材料最小化複合加工プロセス
MIMなどの技術開発 サステナビリティを考慮した高歩留まり加工プロセス スーパーニアネットシエイプ加工技術実用化

技術の
伝承

技能、知識のデジタル化 技能者の感性等の評価、分析、形式知化

規制策
等

京都議定書第一目標期間 次期中間目標の合意 中間目標年 Cool Earth50実現
排出権取引、環境税制などの検討 外部経済の内部化の進展
海外とのものづくり人材交流に関するシナリオ作り 中核人材の相互交流

国際
標準化

グローバル循環社会システム構築に向けた合意 国際合意に基づく地域内循環最適化
解体情報等の標準化に向けた国際ルール検討開始 標準化
リサイクルの高度化のための共通要素設計技術 共通要素設計による高品質な製品・部品リユースの実現

普及
啓発

各種LC評価技術の基礎研究 LCAデータベース、マテリアルフロワーデータ等の利用可能化 評価結果の普及
エコラベル 所有と利用の諸形態に伴う環境影響の提示 上記全ての取組みを通じた環境調和行動の誘導

関連施策の取り組み

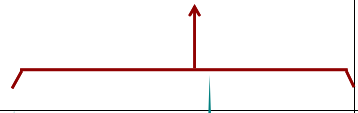
設計、製造、加工分野の技術ロードマップ(1/5)

大分類	中分類	No.	小分類	事前調査、基礎開発		本格開発		実用化時期		
				2010	2020	2030	2050			
LC思考	サービス化	1101	メンテナンス技術	寿命診断 非破壊検査 診断修繕技術 リスクアセスメント保全技術 使用履歴管理技術 メンテナンスビジネス化	非破壊検査技術・故障診断技術 メンテナンスのサービス化技術 使用履歴管理技術	ほぼ全ての社会インフラ、製品で適切な故障診断が可能 メンテナンス産業の高付加価値サービス産業化の進展	使用履歴が適切に管理され、メンテナンスに使用履歴情報が活用される			
				1102	環境調和ビジネス設計支援ソフトウェア技術	環境調和ビジネスの合理的設計が可能 多様な事業形態とビジネスが世の中で展開				
				1201	システム化	LC基礎設計技術 ライフサイクル・シミュレーション 代替案比較分析手法 易リサイクル設計技術 リユース設計技術 構造最適設計技術 高機能材料利用技術 再生材・再生部品利用技術	ライフサイクル設計基本技術 多くの設計現場にライフサイクル設計が導入される	多くの製品で、最適化された革新的なライフサイクルが実現	脱物質化が進展し、複数製品を組み合わせた循環型LCが実現	
				1202	リデュース設計技術	リデュース設計技術	ライフサイクルの最適化設計技術 リデュース設計基礎技術	製品横断的なライフサイクル設計技術		
				1203	LC管理技術	ライフサイクル情報管理技術 使用履歴追加管理技術 環境・情報統合技術	脱物質化設計技術 ライフサイクル管理技術	H/W/S/Wサービスの最適配分による製品サービスシステムの重畳		
				1204	グローバル循環設計・管理技術	グローバル循環のための設計技術 グローバル標準・規格技術 グローバル循環に関わる社会システム整備	ライフサイクル全体の把握と適切な管理の実現 持続可能なグローバル循環の実現			
				1301	プロダクトのモニタリング技術	新しい形状モデルの表現形式 形状モデルの属性の付加と抽出 形状モデルのデータ交換	形状モデルの属性の付加、抽出が実用化			
				1302	現物融合技術	リアルタイムモニタリング技術	新しい形状モデル表現の基礎が固まる 開発システムとして適用が始まる			
				1401	持続可能社会評価技術	持続可能社会シナリオシミュレーター	持続可能社会シナリオ作成技術	我が国の持続可能社会像とそのシナリオの明確化	持続可能社会への到達可能性を評価可能とする	
				再利用化	見える化	1402	各種ライフサイクル評価技術	LCA ライフサイクル・シミュレーション マテリアルフロー分析 安全性評価開発	LCAデータベース、マテリアルフローデータ等の評価基礎データの収集、利用可能化	価値の定量化を含む環境効果指標の確立、多くの製品が評価可能になる
1403	環境効果評価技術	環境効果評価技術開発	環境効果指標技術							
1404	寿命管理技術	寿命予測技術 寿命診断技術 寿命設計技術	劣化・寿命診断技術 品質保証のための基礎技術							
1405	品質保証技術	寿命診断技術 劣化診断技術 非破壊検査技術 信頼検査技術	品質保証のための基礎技術							
1501	リユースのための循環マネジメント技術	リユース部品生産技術 部品生産・修理技術 リユース部品を含む生産計画技術	リユースのための循環マネジメント技術					リユースのための循環マネジメント技術	ライフサイクルを見据えた品質保証証が多量の製品で実用化	
1502	リユースのための生産技術	部品生産・修理技術 検査技術 洗浄技術	リユースのための生産技術							
1503	その他のリユース関連技術	詰め替えビジネス促進技術 詰め替えビジネス阻止技術 中古部品の市場整備	リユース交換技術					リユース交換技術		
1601	共通要素設計技術	部品交換容易化設計技術 部品共通化設計技術 多世代共通化設計技術 標準部品設計技術 標準部品設計技術 標準部品設計技術 モジュール化設計技術 診断容易化設計技術 メンテナンス容易化設計技術 自己修復設計技術	設計による、材料リサイクルの容易化 ライフサイクルの適切なマネジメントのための要素設計技術					設計による、ライフサイクル管理の高度化	設計による高品質な製品・部品リユースの実	リユースビジネスの普及
1602	長寿命化技術	環境変動可能化設計技術 性能向上可能化設計技術 モジュール化設計技術 ソフトウェア更新設計 材料技術・構造技術 メンテナンス技術	物理寿命の長寿命化、制御技術 価値寿命の長寿命化、制御技術					社会インフラ、製品で寿命を長期化し、寿命を制御可能となる 使用段階で機能や性能の追加・削減変更が自由に行える製品の普及		

設計、製造、加工分野の技術ロードマップ(3/5)

大分類	中分類	No.	小分類	事前調査、基礎開発				本格開発			実用化時期	
				2007	2010	2020	2030	2050				
技術の伝承	情報化	3101	技能・技術の形式知化技術	加工現象の計測・分析技術、CAE	加工現象の主因リアルタイム計測技術 加工現象の計測とCAE技術による加工原理の解明	製品企画から製造、利用、環境影響、廃棄、再利用までを通じたCAE技術						
				技能の計測・分析技術	技能者の作業の記録とデータベース化 技能者の判断基準のデータベース化 技能の抽出・分析、再現手法の開発	技能者の感性計測、評価技術 技能者の作業中に技能データを自動抽出する技術						
				加工技能における暗黙知の形式知化	標準型技能データベース構築 技能の加工現象理論による分析、解明	人の感性と加工現象理論による分析、解明	総減価償却技術の保存と再活用のためのシステム					
標準化	情報化	3101	技能・知識のデジタル化技術	デジタル化支援ソフトウェア	自社データベース構築と活用技術 自社データベース活用支援技術	自社技術の適用拡大支援技術						
				問題解決支援技術	トラブル要因分析技術 知識分類・関連づけの自動化技術	トラブル要因自動分析技術 知識分類・関連づけの自動化技術						
				作業中支援技術	不具合自動検出技術 技術情報を提示するモバイル型システムの開発	作業中の人の行動、ストレス反応を計測するモバイル型システムの開発						
標準化	標準化	3201	生産支援技術	生産工程の自動化	生産ラインの自動化技術確立 検査工程の自動化技術	技能作業を再現、拡張する生産機械技術 量産ラインにおいて人と共存可能な汎用作業ロボット技術 セル生産支援ロボット技術						
				生産技術、工程のIT活用技術	業務用アプリケーション 開発支援ソフトウェア プラットフォームの開発	標準型、自社得意数のデータベースと連携して最適な生産条件を示す作業設計技術 業務用アプリケーションの自動開発技術						
				技術の伝承、技能継承マニュアル	マルチメディア利用、加工方法、工程の特性を考慮した効率的人材育成手法、ツールの開発 地域、業種ごとの普及と拠点、普及体制の構築	システムの低コスト化の追求 学校教育への導入 加工現象理論に基づいたVR空間の構築技術						
人材育成	標準化	3301	技能の伝承・関連技術	技術伝承のためのVR技術	サードパーティ先導する五感情報再現のための要素技術開発 種別作業等の特殊作業工程習得への利用技術 技能作業の五感情報を元にした習得への利用技術	システムの低コスト化の追求 学校教育への導入 加工現象理論に基づいたVR空間の構築技術						
				技術伝承のためのIT活用技術	マルチメディア活用技術 VR技術活用技術 インターネットによる公開型データベース活用技術 技術情報、技能情報の集積、分析、体系化とデータベース構築技術	技能の分析と形式知化技術 人的技能の拡張技術 知識分類・関連づけの自動化技術 技術情報の集積、分析、体系化とデータベース構築技術						
				e-ラーニング	学会、教育機関単位での人材育成プログラム構築 企業単位での独自人材育成プログラム構築	VR技術と自然言語による対話的なオーダーメイドシステムの構築						
技術の伝承	標準化	3302	生産のグローバル化に対応する人材育成技術	高品質生産対応作業指示技術	技術・知識における普及範囲と守秘範囲の明確化 図面、工場内各種指示の共通シンボリック化、e-ラーニング、各種データベースの多言語化							

技能(暗黙知)の形式知化により技術継承が促進され、新たな技能が誕生、この繰り返しによる技術のスパイラルアップ



設計、製造、加工分野の技術ロードマップ(4/5)

大分類	中分類	No.	小分類	専門調査、基礎開発			本格開発			実用化時期			
				2007	2010	2020	2030	2050					
最小化	標準化	4101	図面情報の共通化技術	製法手続の国際化 リサイクルマークの共通化 図面付記情報の共通化	図面・製品情報・解体情報・再利用化情報などの標準化・表示等の国際ルール化検討開始	ISO標準準備							
		4201	SCM・LCMを取り込んだ製造	企業 計画 可視化 サプライチェーン ロジスティクス サプライチェーン 垂直統合 サプライヤーの維持	資源・製品供給・製集中型製造と物流 連・消費・輸送を考慮製造・モデル 産した製造技術の計手法の検討 検討開始	資源・環境負荷での供給システム開発 最小環境負荷での供給システム開発							
		4202	製造装置の自動化技術	装置稼働の後置・評価技術 内外を容易にする設計(アライン)									
		4203	高効率的多品種変量生産	マニピュレータ分割(分割ガイド) システム	多品種製品対応製造技術の試行 部品供給ジャンル等への応用開始								
再利用化	標準化	4301	試作最小化技術	半量体ミニコア 局所凍結制御加工技術	ハートシート技術による 超高温材料の局所凍結 増加工技術の確立								
		4302	リユースのためのプロセス技術	構想設計から使える形状モデルの方式 CAD/CAE間のデータ受け渡し簡便 化技術 成形系・脱炭化製法などの技術 連携によるリユース技術 過去のノウハウ活用技術	新しい形状モデルの試用が始まる 現物シミュレーション技術が実用化の段階へ リユース用品診断技術開発開始								
		4303	動脈静脈一体型生産システム技術	検査技術 リユースのための修理・メンテナンス システムプラットフォーム	製品の余命診断技術開発開始 修理容易設計	リペア技術の開発・部品供給体制(臨時生産) 技術開発 リユースのための共通化・情報管理検討開始							
		4304	動脈静脈一体型生産システム技術	成分選別・素材分離技術									
代替化	標準化	4401	使用における有害物質削減、不使用技術	再生マグネシウムからの素材製造 洗浄技術 素材別技術 再生素材品質検査 素材再生技術	リサイクル材料の判別技術 再生材料リサイクル品質 検査技術 再生材料の選別・材料ごとのリサイクルリサイクル検討								
		4402	製造における有害物質削減、不使用技術	高価自動材料選別技術 フレオベレインシオン応用技術 低炭素技術の高度化 再生材料の高品質・高品質化技術 再生プラスチックの高品質化技術 廃棄物再利用技術 製造・廃棄時の有用物質(レアア- ス・レアメタル)回収技術の高度化 RoHS・REACH対応技術	材料の動電圧測定技術の開発 分選・自動選別技術の開発 高品質等の選別技術の開発 再生材料の特性評価	材料選別技術の高度化・分解と精錬の同時化技術の開発・再利用コストの大幅削減							
		4403	廃棄における有害物質削減、不使用技術	形状・構造設計 素材選択 加工選択(塗装等) 有害物質含有物の代替技術 超機能環境適合性トライバルコーティング	軽元素(C, N, B等)による代替化製法の開発 タイマロン(C, N)系・C系・C-ロパモリアス系材料による代替技術の実用化 アイトライド(CN, BN等)による代替技術の選別化 ナイドライド(CN, BN等)による代替技術の実用化 新軽元素コーティングによる代替技術の再評価 製品群の使用時有害物質削減のための素材 開発・設計技術、代替材料の開発進む	新軽元素コーティングによる代替技術の実用化 製品群の使用時有害物質削減のための素材 開発・設計技術、代替材料の開発進む							
		4404	製造における有害物質削減、不使用技術	製造時の有害物質回収技術 加工液等削減 製造時の廃棄物削減技術 レジスト等補助材料の削減技術 廃棄材から元素分離技術	低レベルの有害物質も回収技術 レジスト等補助材料の削減 技術開発	加工液の回収技術・ 使用量の削減進む							

設計、製造、加工分野の技術ロードマップ(5/5)

大分類	中分類	No.	小分類	要素技術 (例)	事前調査、基礎開発		本格開発		実用化時期	
					2010	2020	2030	2050		
微小化	ハランズ化	4501	製造プロセスの省エネ、省資源技術	小型複合生産機械 省エネルギープロセス設計技術 セマックス等の製造プロセス合理化技術 材料・エネルギー・最小化加工技術	2007	一部生産現場での試行	プロセスの省エネ化 設計技術開発進む エネルギー・材料最小化複合加工プロセス	一部産業でのプロセスの省エネ化・低環境負荷への移行が進む	2030	
					2010	一部生産現場での試行	エネルギー・材料最小化のための加工プロセス複合化評価・モニタリングシステムの構築 エネルギー・最小化複合加工プロセス			
					2020	一部生産現場での試行	省エネ化設計技術 エネルギー・材料最小化複合加工プロセス			
		4502	製造設備の省エネ技術	生産システムの効率的運用技術 生産機械のエネルギー使用合理化 ゼロ生産 MIM チタン・モールドアング	2007	セル生産・コンバット生産システム など一部実用化開始	生産システムの効率的な運用技術開発 進む(コンバット生産など含む)	多様な生産現場への導入が進む。	2030	
		4503	材料高歩留まり製造プロセス	チタン・モールドアング MIM チタン・モールドアング	2007	MIMなどの技術開発進む	サステナビリティを考慮 した高歩留まり製造 プロセスの開発進む	実用的導入が開始・多様な製造に適合	2030	
				スーパーニアネットシェーブ加工	2007		スーパーニアネットシェーブ対応の形状・組織・特性・一体型金屬成形加工予測技術の確立 スプリングハック・プレス加工 スーパーニアネットシェーブ技術の確立 スーパーニアネットシェーブ対応製造シミュレーション技術の確立 スーパーニアネットシェーブ対応製造界面品位向上技術の確立 スーパーニアネットシェーブ対応製造10μm以下 製造寸法精度100μm以下		2030	

【参考資料】

サステナブル・マニュファクチャリング 2025 年シナリオ

2008.1.17

サステナブル・マニュファクチャリング技術マップ WG

(0) 全般的な状況

地球温暖化問題に伴う化石エネルギー使用抑制の努力にも関わらず、中国、インドなどの経済発展に伴い、世界の一次エネルギー需要は 2000 年の 1.4 倍に達している。これらのエネルギー供給の一部を担うと期待される再生可能エネルギーについては、技術開発も進み、着実にその比率を高めているが、劇的に増加するまでには至らない。2050 年に向けた削減の数値目標は主要排出国を含んで合意されている。これに伴い、日本の排出量削減目標も設定される。(2000 年比 60~70% 減)。2000 年比 4 倍の環境効率(生産物の価値 / 環境負荷)を可能とする製品設計、生産技術がすでに実現しているが、全産業分野に普及するには至っていないため、日本における CO2 排出量の削減目標は、人口減少、産業の海外流出、製造業を中心とした各産業のリーン化、製品のリデュース・省エネ化、排出権取引、炭素税、CO2 貯蔵の組み合わせにより達成される。しかし、この頃には資源の枯渇の問題が緊急性を増しており、2050 年の低炭素社会を目指して、技術の積み上げでない新たな生活様式の確立も含めたパラダイムシフトが求められている。

(1) 設計開発に関して

例えば家電製品、オフィス機器などでは、製品同士はネットワーク化され、故障診断、メンテナンス・修理要求の自動発信、故障時の相互機能補完などを可能とする製品が登場する。

設計段階からの部品 / 製品リデュースが大きく進むとともに、寿命・品質管理技術、検査技術、リサイクル技術などの要素技術が進展し、ライフサイクル設計において合理的なライフサイクル・オプションが選択され、実施されるようになる。製造、メンテナンス、修理、EOL を含めたトータルシステム設計技術が実用化され、これを可能とする製品ライフサイクルの可視化技術が進展する。持続可能社会シミュレーションが研究、実践面で定着しており、国内的には高度なライフサイクル設計 + 評価 + マネジメントシステムが確立されるが、対アジアへの普及推進、国際的な高度なライフサイクル設計 + 評価 + マネジメントシステムの確立の点で課題を残している。

国際市場・国際競争に関して日本では 2015-2025 の間の低成長経済が続いた結果、経済規模では、中国、インドに抜かれ GDP 比で世界の 4% 程度になる。中国メーカーの技術力は飛躍的に向上し、潤沢な資金を元に、最新の研究開発、生産設備を投入し、中国全土だけでなく、北米、

赤：主として高付加価値化に関連する機能

黄土：主として最小化に関連する機能

青：主としてライフサイクル思考に関連する機能

緑：主として技能の伝承に関連する機能

欧州マーケットへと次々と新製品を投入する。家電製品のなかでも成熟したカテゴリーでは、北米での中国ブランドは不動のものとなる。日本の家電メーカーでは特化した分野をもたない家電メーカーは中国との競争のもと再編の波にのまれるが、いくつかの製品に関しては、環境関連コア技術を持つ日本メーカーも生き残る。こうしたメーカーは、世界的なブランドを更に強固のものとし、メイドインジャパンの強さを見せている。また、省エネ技術、CO2削減技術、CO2貯蔵技術、再生可能エネルギー技術では依然として日本が優位に立つ。また日本メーカーの海外進出については2025年頃をピークに飽和し、国内回帰の動きが強くなる。

新規開発される製品のうちハイエンド品については、部品の製造履歴、使用履歴などを可視化する技術が導入され、トレーサビリティが確保されている。ただし、旧製品、ローエンド品なども含めて全ての製品で安全・安心が確保されるにはいたっていない。

(2) 生産

生産においては、需要に応じて再構成可能な真の Reconfigurable な生産システムが開発、一部実用化が始まり、エネルギー制約、環境制約の打破に貢献し始める。また、最小(エネルギー、設備、資源、コスト)での生産の考え方は多くの生産現場で導入が検討されている。ただしシステムとして導入済みの分野は限られる。(MEMS、半導体ファブ리케이션、薬剤などの製造、)

また、リサイクル材料の価格がバージン材料に比べて相対的に下がり、マテリアルリサイクル技術そのものも高度化されたため、リサイクル材料からのバージン材料由来に遜色の無い生産が増加することになる。経済的なリーン化のみならず、資源的、エネルギー的な面でもリーン化のための要素技術、システム化技術が進展し、この分野では我が国の製造業が依然として優位に立っている。

世界における位置づけとして、素材産業については一般的な素材では中国、インドなどとの価格競争に勝てないが、高度な回収技術、特殊な物性を持つ材料製造、リサイクル材料からの高品質な素材製造などに注力した結果、現状程度の産業規模を維持する。

生産時における REACH 等の化学物質の環境リスク課題は一段落しており、ライフサイクルマネジメントの一部として粛々と運用されている。

(3) 使用(物流・流通、生活)

物流加工・組立の集中化(輸送業者によるアSEMBル)による製造・輸送の統合化、ロジスティックとリサイクル/リユースビジネスの融合が起こる。大規模物流に関しては、風力などを併用した新型船の利用が盛んになり、空輸は限定されたものとなる。

このころになると、持続可能性達成に向けて必要なアクションと経済性のベクトルはある程度揃ってくる。製品の品質、作り方などを含めた広義の環境配慮性を最優先の購買要件とする層がすでに増えている。外部経済の内部化の進展(例:より安い製品がより環境調和性が高い)が進んでいることにもよる。オフィスユース製品では、所有から利用への拡大が大きく進展する。

リユース、リサイクルが経済的に有利になる社会の到来に伴い、社会インフラにおいても100年もつことは常識で、200年以上も活用し続けることができるものが競争力を持つストック型社会へと転換する。この傾向はインフラから一般の製品にも徐々に拡大しつつあり、国内の工

場は、高度なカスタマーサービス（オンデマンドな製品の修理、メンテナンス）に活路を見出す。

日本の人口減少が進むとともに高齢化が急速に進展している。この点を補完するためノウハウの体系化、ソフトウェア化に支援された自動化ブームがおきるが、全ての作業が置き換えられるわけではなく、サービス業、ソフトウェア産業を中心により多くの労働力が海外から導入される。この動きは単純労働力のみでなく、企画、開発、設計などの中核人材にも及ぶ。また、労働人口減少に関連した人材やアクティブシニア産業、所得二極化でのコンシェルジュ産業、個人主義台頭に関連したライフデザイン産業等が新しい産業として拡大する。

データセンターの移転、分散、調達先の分散などリスクマネジメントの一環としての地震対策が進んでおり、201X年に発生した大地震に対してもある程度の対応が可能であった。一方、災害復興を契機として、コンパクトシティ構想パイロットP」が実行に移されることとなった。また、地震以外にも、地球温暖化に関係すると言われる大規模台風による災害、広範囲の感染症などに対するリスクマネジメントも完全とは言えないが進みつつある。街中では自動販売機にセンサをつけて、子供が通ったかなどを見守るなど、メディアの延長線上として「シティメディア」が成立している。このような技術の進展で、日本の社会生活における安全・安心は順調に進展している。それが吸引力となって、アジア富裕層、高学歴層の日本への投資、移住が増加をみせている。ただし、国内における格差の拡大傾向はあまり改善されず、こうした生活上の安全・安心を享受できない層への対策が問題として顕在化している。

（４）使用後

石油価格の高騰から、メーカによるリユース、リサイクルなどの LC 思考が経済のメカニズムに組み込まれ経営戦略となるとともに、より広範な循環型ビジネスモデルが成立し得るようになってきている。リサイクル原材料については地域ベースでのリサイクルのサードパーティ、輸出、輸入、など様々な選択肢が登場し、解体された部品、回収された材料などは都市鉱山として争奪戦の対象となる。ただし、基本的には自国で利用した廃電子電気機器を戦略的に自国内でリサイクルする方針が採られるようになる。一旦は製品としての再利用を含めたグローバル循環が進んだが、発展途上国における再利用需要の減少とレアアース、レアメタルの確保戦略もあり、リユース需要については 2015 年頃をピークに減少に転じた。またリサイクル用途としての輸出も 2020 年ごろをピークに減少傾向にある。

枯渇資源、レアメタル、レアアースについては、依然として代替材料開発競争が続けられている。開発の結果、技術的には解決される素材もあるが、新素材の開発とともに、新たなレアアース、レアメタルが必要となる状況は変わらず、地球上における物質分布の偏在も変わらないため、基本的にはモグラ叩き競争となる。

赤：主として高付加価値化に関連する機能

黄土：主として最小化に関連する機能

青：主としてライフサイクル思考に関連する機能

緑：主として技能の伝承に関連する機能