

次世代3次元内外計測の評価基盤技術 開発プロジェクトの概要

平成28年11月28日

経済産業省産業技術環境局計量行政室

目次

1. 事業の概要
2. 事業アウトカム
3. 事業アウトプット
4. 当省(国)が実施することの必要性
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
6. 研究開発の実施・マネジメント体制等
7. 費用対効果
8. 事前評価結果

1. 事業の概要

概 要	金属製品、大型部品等の寸法を高精度で計測可能な高エネルギーX線CT計測装置、その計測性能を客観的に評価するための手法を開発し、得られた知見を国際標準化につなげるとともに産業界に普及することを通じて、我が国のものづくり基盤を強化し、経済成長・国際競争力強化に貢献することを目的とする。
実施期間	平成25年度～平成27年度（3年間）
実施形態	国からの直執行（国立研究開発法人産業技術総合研究所及び株式会社日立製作所への委託事業）
予算総額	4.4億円 （平成25年度：1.5億円 平成26年度：2.1億円 平成27年度：0.7億円）
実 施 者	国立研究開発法人産業技術総合研究所 株式会社日立製作所
プロジェクト リーダー	国立研究開発法人産業技術総合研究所 工学計測標準研究部門 高辻利之（部門長）

2. 事業アウトカム

事業アウトカム指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
目標最終年度32年度予定 ①高エネルギーX線CT装置の普及(300億円)。 (2020年頃、既存の3次元測定機の市場《推定1000億円／年》の3割が置き換わることを期待) ②高エネルギーX線CT装置による検査事業の売り上げ見込み等経済波及効果。 (自動車分野における新素材、複合材料、モジュールなど、新エネルギー分野における風車の羽、燃料電池、リチウムイオン電池、航空宇宙分野におけるノズル、タービンブレードなどの検査への適用) ③高エネルギーX線CT装置を利用した計測方法の国際規格を策定する。 (グローバルな評価指標で品質の信頼性を与えることによる我が国の基幹産業の後押し、国際競争力強化)	(事業開始時)	—	—
	(中間評価時)	—	—
	(事業終了時)	①共同研究及び技術相談を通し、計測用X線CTの企業での事業化に向けた技術支援を実施している。(一部達成) ②物理標準整備計画に基づき29年度までにX線CTによる幾何形状の標準供給体制を整備するための研究開発を推進中である。(一部達成) ③ISO/TC213/WG10における計測用X線CTの性能評価法規格開発のプロジェクトリーダーを獲得した。(一部達成)	—
	(事業目的達成時)	—	—

3. 事業アウトプット(1)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
1) 高エネルギーX線CT装置の開発 ① 高エネルギー・微小X線源の開発(25、26年度) ② 高分解能・高感度検出器の開発(25、26年度)	(事業終了時) ① 微小焦点サイズをもつX線源に適した装置とそのターゲットを開発する。目標焦点サイズは100 μm とする。 ② 検出器の薄型化開発(従来装置の70%)を実施し、従来装置の約1.5倍である1000個以上の検出器配列を実施する。また、この稠密配列に対応したスリットを持つ検出コリメータを開発する。	① 株式会社光子発生技術研究所の持っているX線源技術を使い、高エネルギー・高精度X線CT装置用の新しいX線源として開発製作を実施した。開発したX線源は、焦点サイズ100 μm、最大X線エネルギー3.5MVである。(達成) ② 検出器の薄型化開発を実施し、従来装置の70%の薄型を実現した。この検出器の実装個数についてはシステム最適化を実施した結果、従来装置の約1.3倍である970個の検出器配列となった。また、この稠密配列に対応したスリットを持つ検出コリメータ、及び検出器ホルダを開発した。(達成)	—

3. 事業アウトプット(2)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
③高精度・高分解能・高耐荷重ワークステージの開発(25、26年度) ④CT装置のシステムの開発(26年度)	(事業終了時) ③寸法で500mm以上、質量40kg以上の産業用部品の撮影に対応可能かつ、高精度な(回転軸ぶれ及び回転角度の読み取り誤差について)ワークステージを開発する。 ④運転計画装置、画像表示装置、画像再構成ソフトウェア、画像表示コントローラを開発するとともに、課題①～③において開発した各機器を統合し、高エネルギーX線CT装置のシステム製作を行う。	③高精度・高分解能・高耐荷重ワークステージとして、最大寸王600mm、質量50Kgで高精度撮像ができるワークステージを開発した。(達成) ④運転計画装置、画像表示装置、画像再構成ソフトウェア、画像表示コントローラを開発するとともに、課題①～③において開発した各機器を統合し、高エネルギーX線CT装置のシステムを開発した。(達成)	—

3. 事業アウトプット(3)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
⑤高エネルギー・高分解能X線CT装置の整備(27年度)	(事業終了時) ⑤高エネルギー微細X線源、高分解能・高感度検出器、高精度・高分解能・高耐荷重ワークステージを使い、高エネルギー・高分解能X線CT装置として運転計画ソフトウェア及び画像表示ソフトウェアによる制御機能の組み込みを行い、さらにシステム全体の組み立て及び調整を経て高エネルギー・高分解能X線CT装置として完成させる。その際、X線源用ファンビームコリメータ及び検出器用スライス可変コリメータの製作及び装置への組み込みを行い、これらの高分解能化への寄与を検証する。本事業は空間周波数表示したMTF(変調伝達関数)として2.5 mm⁻¹の実現を目指す。	⑤高エネルギー・高分解能X線CT装置を組み上げ、試験調整を実施し、装置として完成した。空間周波数表示したMTF(変調伝達関数)では2.6mm⁻¹を実現した。(達成)	—

3. 事業アウトプット(4)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
⑥高エネルギー・高分解能X線CT装置の性能評価(27年度)	(事業終了時) ⑥開発した高エネルギー・高分解能X線CT装置の性能評価を実施する。 分解能の性能評価に際し、平成25年度事業で開発した高エネルギーX線CT用分解能評価ゲージ(評価範囲:0.05 mmから5 mm)を適用して検証する。	⑥高エネルギー・高分解能X線CT装置の性能評価を実施した。特に空間分解能については高エネルギーX線CT用分解能評価ゲージを用いて、撮影視野300mmにおいて0.1mmの分解能を確認した。(達成)	

3. 事業アウトプット(5)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
2)3次元内外計測の評価技術の開発 ①計測結果の信頼性を客観的に評価する手法の開発(25年度) ②計測結果の信頼性を客観的に評価する手法の開発(26年度) ③画像再構成技術の開発(26年度)	(事業終了時) ①分解能評価用ゲージ(評価範囲50 μm～1,000 μm)の開発、製作、分解能評価手法の提案。 ②測定誤差評価用(評価範囲400 mm)の製作および幾何学的誤差の校正手法の開発。 ③修正分割アルゴリズムの開発及び測定ワークの材質や構造に着目した画像品質の向上。	①分解能評価用ゲージ(評価範囲50 μm～5,000 μm)の開発、製作を経て分解能評価法を提案した。(達成) ②評価範囲400 mmのCFRPボールシャフトフォレストゲージの設計、製作を経て高エネルギーX線CTの幾何学的誤差の評価を行った。またコントラスト分解能の評価用ゲージの設計、製作、評価を行った。(達成) ③4分木分割トップダウン方式による修正分割アルゴリズム及び順投影アルゴリズムを開発し、既存FBP法と比較して画像品質の向上を確認した。(達成)	—

3. 事業アウトプット(6)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
④画像活用のソフトウェア類の開発(26年度) ⑤内部寸法計測の信頼性を評価する手法の開発(27年度) ⑥再構成における表面抽出の高精度化技術開発(27年度)	(事業終了時) ④新たな逐次再構成法の実現に必要なバックワードプロジェクション機能の開発。 ⑤0.05 mmから400 mmに対応する内部寸法の計測用ゲージ及び評価法の開発。 ⑥4分木による適応的逐次再構成アルゴリズムの計算効率化、耐雑音性の高品質化。	④バックワードプロジェクションアルゴリズムを開発し、基本的な動作検証を行った。(達成) ⑤内部寸法の計測ゲージ及び評価法の開発を行った。寸法の測定範囲が0.05 mmから400 mmにおいて不確かさが1 μmから4 μmを満足する内部寸法評価ゲージを設計・製作し、X線CTにより効果を検証した。(達成) ⑥Convex法との連携による耐雑音性の向上、四分木再分割とDual Marching Cubes法の組み合わせによる適応的逐次再構成に対応した表面抽出機能を実現した。既存の均一格子による逐次再構成アルゴリズムに比較し、10倍以上の大幅な再構成ボリュームデータの容量削減、および演算時間の短縮化を実証した。(達成)	—

3. 事業アウトプット(7)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
⑦実CTデータへの適用による再構成ソフトウェア適合化開発(27年度)	(事業終了時) ⑦逐次再構成法をCT装置に実装するにあたり必要となるソフトウェアの開発。	⑦X線源の動作特性を把握した装置運転ソフトウェア群(ワークステージ駆動ソフト)、再構成ソフトウェアの入力データとなる計測データの変換ソフトウェア群(計測データ重合処理ソフトと、運転計画ソフト)を開発した。 (達成)	—

3. 事業アウトプット(8)

事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値(計画)	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
3)国際標準化への取り組み ISO/TC213/WG10に対して国際標準化提案する。(26、27年度)	(事業終了時) 国際標準化提案およびNWIP／CD投票への移行の決議。	国際標準化提案及びNWIP／CD投票への移行の決議を得た。(達成)	—

共通指標実績(全体)

論文数	論文の被引用度数	特許等件数(出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス供与数	国際標準への寄与	プロトタイプの実成
10	—	—	—	—	1	8

個別要素技術のアウトプット指標・目標値及び達成状況

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況(実績値・達成度)	原因分析(未達成の場合)
- 高エネルギー微小X線源 - 高分解能・高感度検出器 - 高精度・高分解能・高耐荷重ワークステージ - 高エネルギー・高分解能X線CT装置の性能評価法 - トップダウン方式による逐次再構成法 - 国際標準化	- 焦点サイズ100 μm - 薄型検出器を1000個以上 - 最大寸法500 mm、最大積載質量50 kg - 分解能評価0.05 mm～1 mm、400 mmの幾何学的誤差評価、内部寸法評価0.05 mm～5 mm - 適応的な4分木による画像再構成法 - ISO/TC213/WG10への標準化提案	- 焦点サイズ100 μmを達成。 - 薄型検出器を1098個製作、達成。 - 最大寸法500 mm、最大積載質量50 kg、達成。 - 分解能評価0.05 mm～5 mm、400 mmの幾何学的誤差評価、内部寸法評価0.05 mm～5 mm、達成。 4分木による画像再構成法を開発、均一格子のデータ容量3.1 GBに対し、提案手法では26 MB、達成。 - ISO/TC213/WG10においてプロジェクトリーダー獲得、NWIP/CD投票への移行の決議を獲得、達成。	—

4. 当省(国)が実施することの必要性

●政策的位置づけ

経済産業省では、我が国の製造業の大半を所管し、かつ、産業技術分野における知的基盤政策を推進する立場から、経済成長、産業競争力強化を図る。

特に、我が国が強みを有する「ものづくり」において、計測技術は重要な知的基盤であり、同時に計測結果の信頼性を保証する計測標準も計測技術を支える重要な知的基盤である。そのため、これら計測技術の知的基盤の整備を通じて、我が国の強みを活かし世界の競争に勝ち抜く「ものづくり」への支援に貢献し、さらには国際競争力の維持・強化、安全安心の確保、イノベーション創出の環境整備に貢献する。

本研究開発は『第4期科学技術基本計画 4. 国際水準の研究環境及び基盤の形成』の「(2) 知的基盤の整備」として位置づけられている。

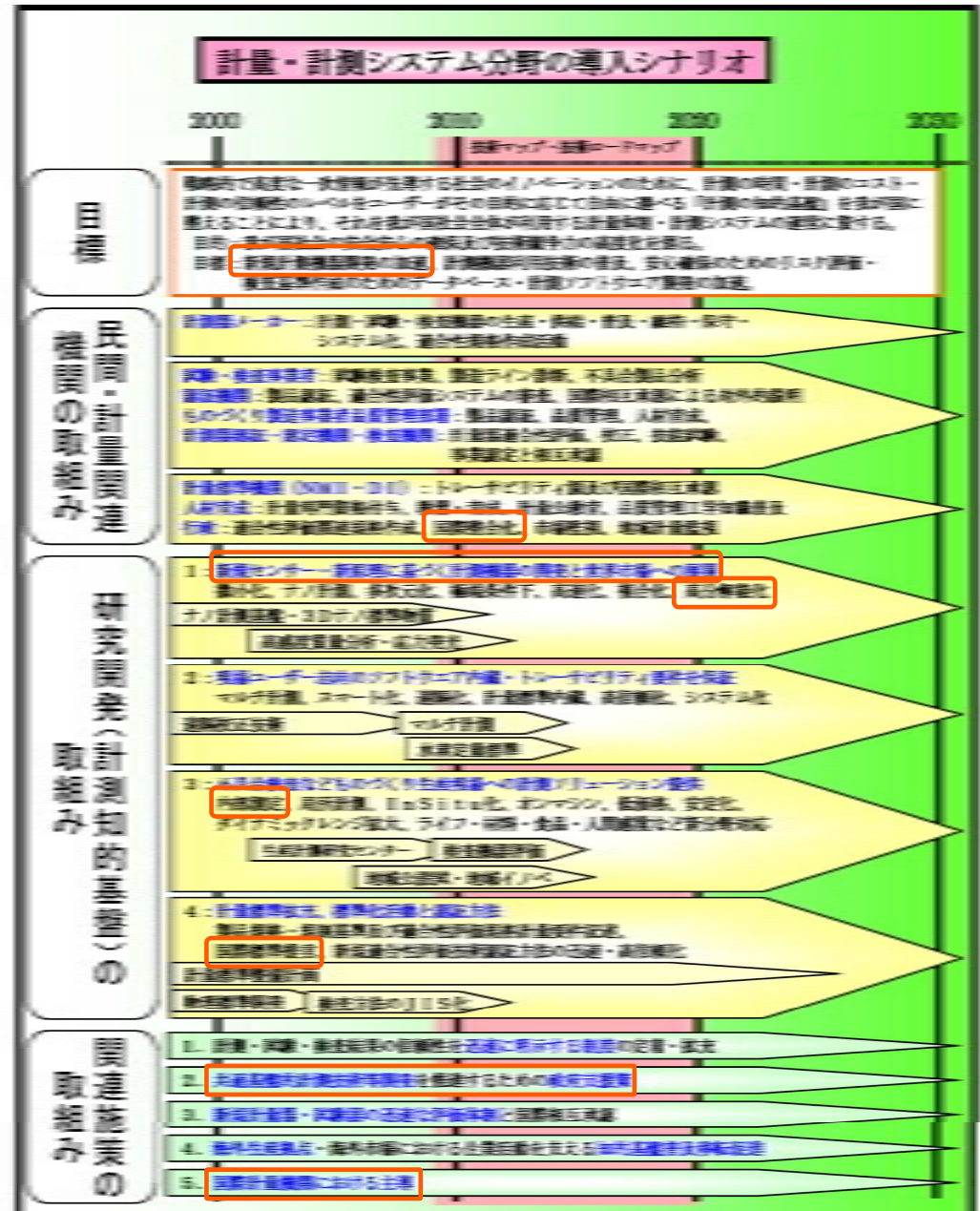
●国が実施する必要性について

X線CT技術は主に医療診断用に多く利用されている技術であるが、元々は物理学上の発見を医療に応用したものであり、理工学、医学など幅広い分野にわたって波及効果とイノベーションをもたらしてきた。この分野は日本が世界において競争力を有する分野である。

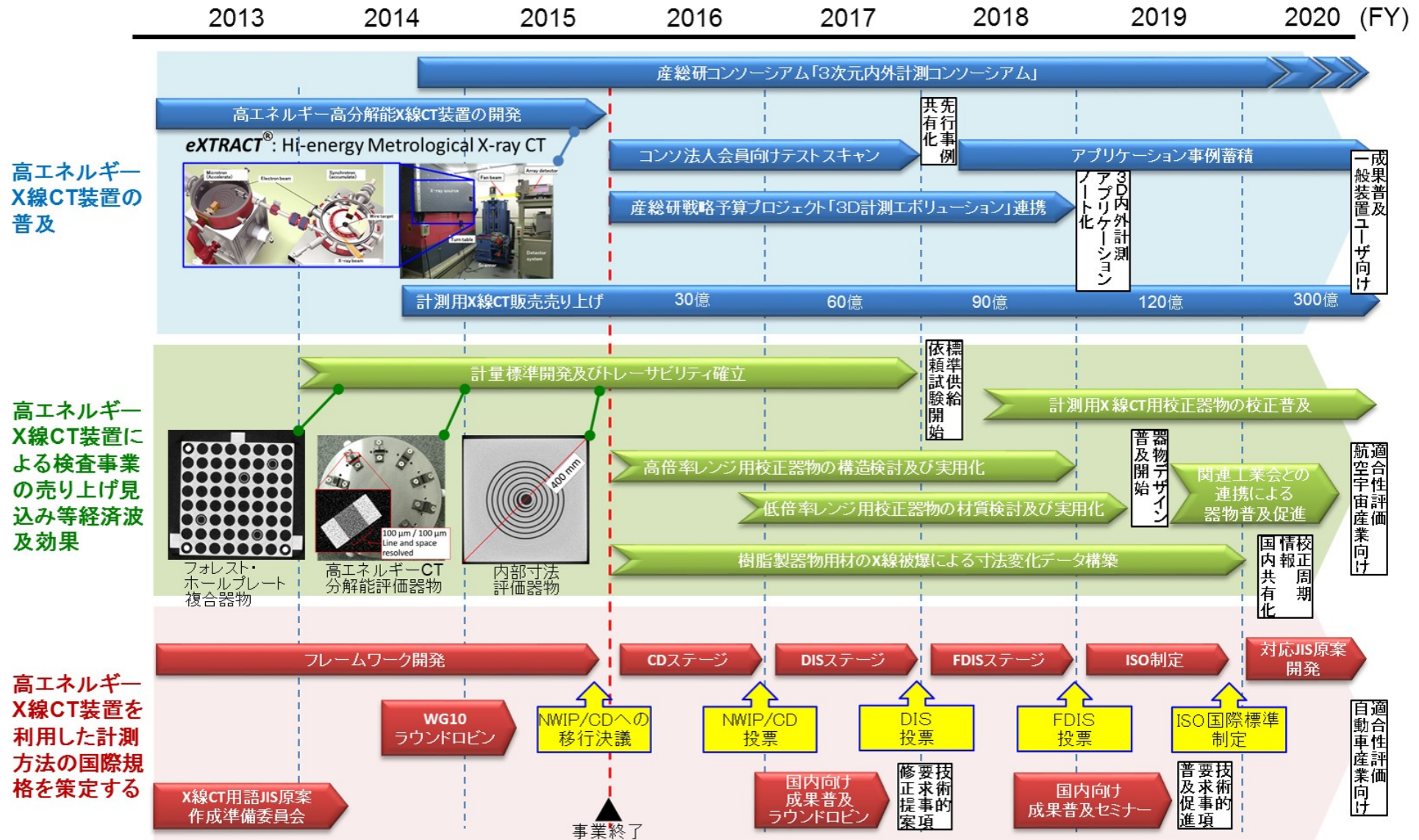
本研究開発は、このX線CT技術を「ものづくり」に応用するために高エネルギー高分解能X線CT技術を開発し、計測標準及びそれを用いた評価手法の確立と標準化までを一貫して行うこととした。

本研究開発は、複雑で高度な技術を結集して行う必要があり、事業化の可否の判断の難しさなどから研究開発リスクが高く、民間には新規に技術開発投資を行う人的・資金的な余裕がないため、国が企業、研究所と連携して実施する必要がある。

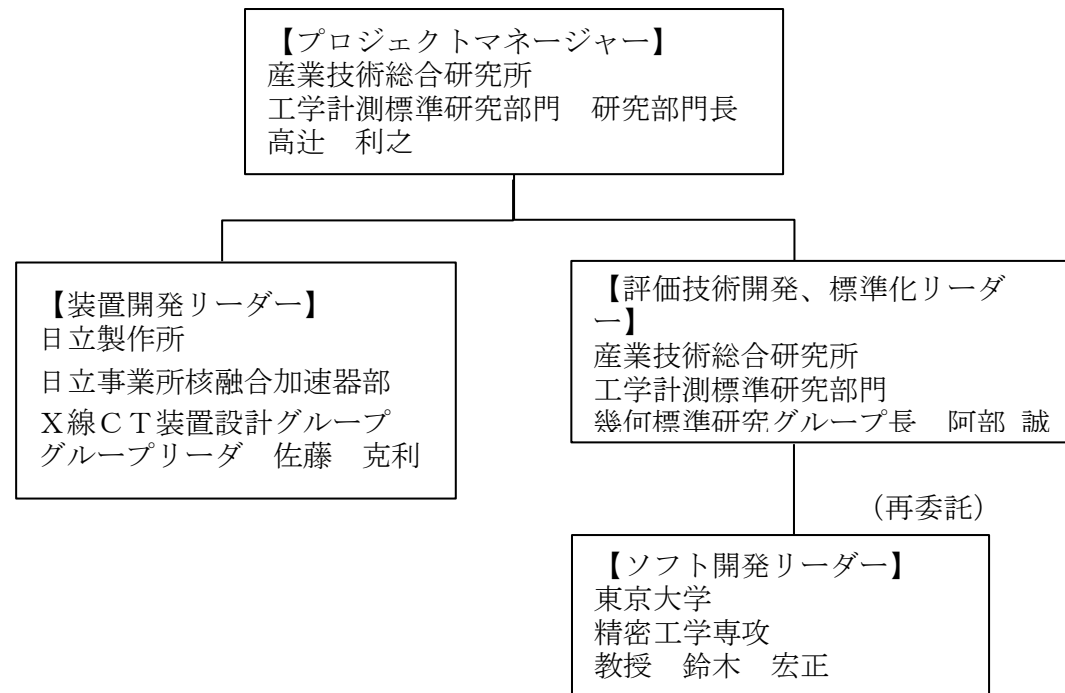
本事業は、『技術戦略マップ2011 計量・計測システム分野』にも、右図のとおり位置づけられる。



5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ



6. 研究開発の実施・マネジメント体制等



- 本事業のプロジェクトリーダー、プロジェクトマネージャーである産総研 高辻利之、阿部誠は計測用X線CTの国際標準草案を審議するISO/TC213/WG10における日本のエキスパートとして登録され、これまでISO 10360シリーズ(性能評価法)及びISO 15530シリーズ(不確かさ見積り)の審議において国際的にも中心的な役割を果たしてきた。特に、2013年に制定されたISO 10360-8(光学式距離センサ付座標測定機)については高辻利之がプロジェクトリーダーを務めた。高辻利之は本事業の国際標準化の課題となるISO 10360-11(計測用X線CT)のプロジェクトリーダーの指名を受け、継続して取り組んでいる。
- 本事業において開発のMeVクラスのX線源を取り扱うためには、第1種放射線取扱い主任者の資格をもつ者が管理監督し、本事業の開発内容について法令等に則って管理運営される放射線管理区域及びその管理体制が必要不可欠である。本事業の装置開発リーダーである日立製作所 佐藤克利氏、及び株式会社日立製作所日立事業所核融合加速器部(事業当時)はこれらの条件を満足した資格、放射線管理区域、および管理体制を保有して運用しており、本事業の推進にあたりこの資格及び体制のもとで研究開発に取り組んだ。
- 東京大学 鈴木宏正教授は、産業用X線CTの画像処理技術において世界的な権威として内外に広く知られている。修正分割とトップダウン方式を組み合わせた逐次再構成法を開発することをめざし、フォワードプロジェクション、バックワードプロジェクション、再分割の最適化及び投影像を用いた寸法計測などに取り組み、本事業で開発したシステムに統合し、その効果を検証した。

7. 費用対効果

- 投入された国費総額4億3700万円に対し、本事業のアウトプットとして他に例を見ない、高エネルギー高分解能X線CT装置及び計量標準と工業標準の一体開発が実現した。開発したX線CT装置はアルミで400 mm以上の透過力を有すると同時に、0.1/0.1 mmのライン・アンド・スペースを解像可能な性能を発揮した。計量標準及び工業標準の開発では、29年度のX線CTのための標準供給及び31年度のISO国際標準制定に向け、本事業の終了後も本事業のメンバが主導して開発を進めている。いずれも本事業のアウトプット目標を達成した上で引続き本事業のアウトカムの達成に向けて強力に研究開発を推進している。
- 計れないものは造れないことも広く認知されたことであり、そのため測定機の費用対効果を見積もるための方法として、測定機の技術革新が製品の技術革新に直結して生産性などの向上に大きく寄与する場合について、その製品に関する測定機に起因する経済効果を見積り、本事業が我が国の経済に及ぼす費用対効果をさらに見積もることとする。
- 自動車産業において、リコール発生件数は年間300件程度となっており、自動車の生産台数500～600万台程度との比率から、リコール一件あたりのインパクトは2万台／年となる。高エネルギー高分解能X線CTによりこの内5件が未然に防止できると仮定すると、自動車1台あたりのリコール対策費用を10万円と見積もることにより、100億円の経済効果が見込まれる。
- CFRPの課題は高速成形と加工法の開発、製造コストと生産量の増加である。成形工程中に大量のカットロス、NG部品、期限切れ、品質保証用の試験片が生じ、30～50%が廃棄されているという。材料評価がいかに適切に高速に行えるかが、製品歩留まりを向上するにあたり極めて重要となる。CFRPの構造評価はX線CT以外に、欠陥を定量的に評価できる計測ツールはない。成形工程中に生じる平均廃棄量40%の2つの原因に対し、X線CTにより定量評価が可能になることで、廃棄量をそれぞれ半分にできるとすると10%に低減でき、全体で10%の廃棄量低減、すなわち生産歩留まり向上となる。自動車、航空機をはじめとして余りある需要に対し、生産量の増加は容易に吸収できるとし、30年時点で500億円の経済効果が見込まれる。
- 計測用X線CTそれ自体のマーケット開拓及び拡大による費用対効果に加え、日本を代表するものづくり産業と位置づけられる自動車及び炭素繊維材料について、計測用X線CTに直接に起因する経済効果を見積もったところ、32年度において600億円の経済的インパクトが見込まれる結果となった。ここに見積を行わなかった日本の他のものづくり産業に対する経済効果を含め、計測用X線CTの経済的インパクトは本事業において成された国費投入に対し、十分に応え得る

8. 事前評価の結果

コメント

- ① 国が実施することの必要性について
計測技術そのものの基盤をつくるという意味で非常に重要であり、公的資金で取り組むべき事業である。
- ② 研究開発資金について
大学が保有するシーズを掘り起こしたことで安価に装置開発ができることになったと思われるが、予算が少ないのが危惧される。大学のシーズと企業の装置をつくっていく力を組み合わせた計画づくりのモデルケースの一つになることを期待。
- ③ 研究開発の取り組み方について
利用者側との連携をより一層密にして、装置を作るというよりも、利用に供することが出来るようなものを作るという姿勢で考えるべき。
- ④ 成果の普及について
普及の段階になるとさらに付加的な要素が必要になるが、地域の工業試験所等まで普及できれば非常に有効性を発揮できる。単に装置開発に留まらず、利用、普及、計測結果(詳細情報)の保護というような多面的な側面を考えながら進めることが必要。

対処方針

- ① 本事業を通じて、我が国の計測基盤を構築して参りたい。
- ② 本事業は評価技術を開発することが目的であり、そのために最低限必要となるプロトタイプ装置の開発費を予算に計上している。産学官の連携体制により、効果的・効率的に取り組んで参りたい。なお、装置の大型化、高性能化等を志向する場合は必然的に資金も多く必要となるが、これは本事業の成果を基に民間主導で取り組むことが適当と考えている。
- ③ 事業の実施期間中にユーザーを中心としたコンソーシアム等を設置し、ユーザーごとに利用してもらい、性能を確認してもらうとともに、製品化に向けた課題を把握する予定。
- ④ ご指摘を踏まえ、装置開発に留まらず、計量標準、評価手法等総合的な開発、及びその後の成果の普及などにも注意を払い取り組んで参りたい。