

中性子でできること

小型中性子イメージングシステム検討委員会概要

木村文彦

法政大学 理工学部

fumihiko.kimura@hosei.ac.jp

1. はじめに

理化学研究所では、産業利用を目的とした小型中性子イメージングシステムの研究開発を目指して、小型中性子イメージングシステム検討委員会を設置した。最大の目標は、高度成長期に建造された橋梁などの大型構造物の非破壊検査を行うための可搬型中性子イメージング装置の実現であるが、同時に自動車や鉄道車両などの製品内部の残留応力の測定や鉄系鋳物部品の欠陥検査など、ものづくりの分野における計測に使える据え置き型の小型装置の開発も目標とする。本稿は、主にもものづくり分野について、委員会の報告書[1]の内容を抜粋・要約し、産業応用の立場から中性子でできることを概説する。

当委員会には大学・研究所・企業などの専門家に参加いただき、親委員会としての「検討委員会」のもとに3つの分科会を設置して、本当に現場で要望され役立つ装置はどのようなものか、そのための技術課題は何か、などについて検討を行った。設置した分科会は「大型構造物」と「ものづくり」の分野に関する要望をまとめる2つの応用分科会と、その要望に応える装置について技術的な検討を行う「小型中性子イメージング装置技術分科会」である。

委員会での検討内容は以下のようである。我が国は社会的に成熟期に入り、鉄道、道路やダム建設などは一段落し、公共投資額は1998年をピークに大きく減少している。この状況を道路橋についてみると、我が国には高速道路から市町村道に至るまでの道路に、約15万の橋梁（橋長15m以上）が存在している。これらの多くは昭和30年代からの高度経済成長期を中心に大量に建設されたもので、すでに老朽化が始まっている。建設後40年を超える橋梁は2005年では、約2.5万橋であったが、2015年には全橋梁の約40%に相当する約6.4万橋に急増する。しかし、橋梁の架け替えには多額のコストがかかり、かつコンクリートや鉄鋼という多量のCO₂を発生する資材を投入する必要があるため、これらの橋梁に対し補修を施しながら、寿命を延ばして使用するという方針が打ち出されている。しかし、そのためには橋梁のメンテナンスを実施するための技術的な基盤の開発が必要であるが、残念ながら、現在も崩落の危険性を予見できる非破壊検査技術などが十分に確立していないのが実情である。

一方、ものづくりの分野でも、新しい課題が次々と生まれている。自然環境にかかる負荷をできるだけ少なくして、持続可能なものづくりを目指すということがその方向であり、地球温暖化の原因と考えられるCO₂の削減、省エネルギーや資源のリサイクル、リユースが強く求められるようになっている。自動車を例にとると、ガソリン車、ハイブリッド車から電気自動車へという流れができつつあり、かつ軽量化への絶えざる強い要請がある。これらにかかわる技術開発は世界を巻き込む熾烈な競争にあり、我が国の自動車メーカーにとっても浮沈を左右する重要な課題である。このような競争を勝ち抜くには、技術開発のためにこれまでになかった新しいツールが要求される。

これらの社会的にきわめて重要な課題に応え得る技術として、中性子イメージング技術がある。これまでの研究で、中性子ラジオグラフィーによって鉄鋼材料に入ったクラックや鋳巣などの欠陥が見えることや、コンクリート内部の鉄筋が見えることが知られている。また、金属材料内の残留

応力測定や、発電機やモーターなどにおける磁場、燃料電池内部の水の挙動などについて、中性子を用いた計測がおこなわれている。我が国ではこれらの研究は主に日本原子力開発機構の中性子ビーム実験装置 JRR-3 などの大型共用施設を用いて行われたものであり、日本原子力開発機構の大型共用施設 J-PARC も活用され始めている。これらは、強いビームが得られる大変強力な装置である。しかし、共用であるために制約が多く順番を待たなくてはならないし、何よりも、装置を動かすことができないので現場に持ち込むことは不可能である。

上記のような橋梁の非破壊検査や、日常のものづくり技術開発のために必要なものは、現場に持ち込んで計測できたり、研究開発の手元に置いて常時使用できたりする小型の装置である。これは、いわば計算機で言うと、メインフレームが中心であった時代から、ワークステーションへそしてパソコンへと小型化していった過程に相当すると考えられよう。計算機はパソコンの出現によって爆発的に普及した。中性子イメージング技術も普及のためには小型化を達成することが重要であろう。

以下、中性子イメージング技術の産業応用について、報告書[1]の内容を抜粋・要約しながら概説する。本稿では、主に高効率なものづくりなどの分野における技術的課題を考察し、そのための計測技術の重要性を議論して、従来の計測手法では十分に計測できない対象物の内部の変形や損傷、物性値変化や流動などを計測する手段として中性子イメージング技術の応用可能性・有効性を検討した。大型構造物とものづくりにおいては、基本的な課題は共通であるが、対象物の大きさ、計測対象現象や計測精度、開発すべき中性子イメージングシステムの相違（可搬型と据置型）など、実現に向けては個別に検討する必要性も多いと考えられる。報告書[1]では、大型構造物の検査への応用、中性子イメージング技術の現状や開発すべき中性子イメージングシステムについても記述されているが、これらについては他で報告されるので、本稿では割愛している。

2. ものづくりへの応用

2. 1 ものづくり技術の課題と対策

2. 1. 1 ものづくり技術の課題

ものづくり産業は、我が国経済の基盤であり、20 世紀の半ばから一貫して成長を遂げてきた。とりわけ高品質・高効率な製造技術は世界各国に比して優れており、我が国製造業の競争力の根源であった。近年に至り、発展途上国における製造業の急激な発展、市場開放による製造活動のグローバル化、エネルギーや資源の制約あるいは地球温暖化を考慮した持続可能生産への転換など、我が国の製造業は多くの課題に直面している。

地球環境問題の観点から、また成熟した市場あるいは発展途上の市場での要求から、求められる製品や製造技術が異なってきた。地球環境問題の観点からは、製品製造および製品使用時におけるエネルギーや資源の消費の大幅な削減が求められている。成熟した市場では、高品質のみならず、信頼性が高く安全な製品が要求されている。発展途上の新興市場では、既存製品と同程度の機能・信頼性を有しながら、超低価格な製品が求められている。いずれの要求に対しても、小手先の技術開発ではなく、従来のものづくり技術を根底から変えていくような技術革新が必要である。我が国のものづくり産業は、21 世紀の前半に大きく技術基盤を変えていくことが期待されている。

ものづくりの技術は、デジタルエンジニアリングの普及や、素材や製造プロセスの進歩によって、急激に進歩してきた。しかし、前節に議論したように、近年のグローバル化による厳しい機能・価格競争、また、地球環境問題に対応した省エネルギー・省資源の要求、徹底した信頼性・安全性の確保などにより、新たな課題に直面している。以下のような課題がある。

(1) 製品の過度な高度化・複雑化

近年の製品は、自動車や情報機器に見られるように、性能や機能が向上し、製品構造は複雑化の一途を辿っている。往々にして機能の過度な高度化や構造の複雑化を招き、製品の基本的信頼性や省エネルギー・省資源性を損なっている。機能・性能と信頼性・省エネルギー性・省資源性を両立

させるためには、精度の高い設計を行い、過度な余裕を削減して適正な品質の製品を実現する必要があるが、技術の困難さは高い。

(2) 製造プロセスの絶えざる高度化・複雑化

新素材や新たな加工技術などの新製造プロセスの導入は革新的製品の実現に効果的である。これらの実績のない技術の導入に際しては、試作実験や計算機シミュレーションなどにより品質や生産性の実態を把握し、いかに迅速・安定に実用製造プロセスへ展開できるかが重要である。

(3) 安全・安心への要求

製品使用者の安全や利便性のみならず、省エネルギー・省資源の観点からも、製品の信頼性を高めて、長期間、高負荷状態で故障や事故なく稼働させることは重要である。究極的には無故障・無事故製品を目指すのが、そのために正常時性能が劣化してはならない。無駄な余裕を排除して、いかにして高度な製品信頼性を達成するかは、困難な技術的課題である。

(4) 持続可能生産の要求

自動車などの大量生産製品は、今後必然的に発展途上国へ展開していく。現状のままの製品であれば、エネルギー消費による地球温暖化や資源枯渇により、明らかに地球環境の持続性を損なうことになる。いかにして極限的な省エネルギー・省資源を達成するかは大きな問題である。製品機能、製品構造、新素材、製造プロセスなどについて、総合的な技術開発が必須である。

(5) ものづくり人材の減少

我が国では、今後人口減少とともに就労可能人口も急速に減少すると予想されており、特に製造業においてその影響は大きい。いかにしてもものづくり技術基盤を維持するか、は大きな問題である。そのためには、現場のノウハウに止まっている製造技術を、実態をきちんと計測・可視化することにより理論化し、技術知識の伝承を確実なものにしていく必要がある。

上記はいずれも喫緊の課題であり、早急の対応が求められている。特に、共通の課題として、製品や製造技術における様々な無駄を排除して不要な余裕をなくした適正品質のものづくり技術の開発があげられる。これを基盤として、地球持続可能性の観点から、国家レベルで、我々の活動の資源生産性を向上させることが要求されている。製造業はエネルギーや資源の流れに強くかかわっているがゆえに、技術開発により資源生産性向上の活動を先導する責務があり、それは可能である。

2. 1. 2 ものづくり技術の課題に対応する基本的考え方

上記であげられた課題に対応する基本的な方策として、ここでは「原理原則に基づくものづくり」への転換を取り上げる。よく議論されるように、製品機能の解析や製造プロセスの実行などものづくりの現場には多くのノウハウがあり、すりあわせ的な対応がものづくりの競争力であるといわれる。確かに、現状の知識では理論化できない事柄は沢山あるが、一方、確実に理論化できることがなされていない事例も多い。このような事柄の理論化を進め、着実に試行錯誤の無駄を排除していくことが、確実な資源生産性向上への道である。

例えば、非常に基礎的な部品である玉軸受について、軸受形状や潤滑方式の最適化により摩擦損失を45%も削減できた例がある。動的な機械製品の性能は摩擦損失の集積であり、同様の技術解析を原理原則に基づいて徹底的に推し進めることで、大きな省エネルギーを達成できるかもしれない。自動車のボディ構造や駆動系機構部品についても、素材諸元や加工・接続法の解明により、強度要求を維持したまま画期的な軽量化が図れる可能性がある。このように、成熟技術であると考えられているものでも、改めて厳しい技術要件に対応して、「原理原則に基づいて」研究開発を進めると画期的な性能向上が実現できる可能性があるものは多いと考えられる。

そのためには、ものづくりの実態をきちんと可視化して把握することがまず第一に重要である。デジタル化が進み、デジタルエンジニアリングによるシミュレーションに基づき、現場の試行錯誤を減少させることが可能となってきた。しかしデジタル化の基礎となる現象の可視化が十分でない分野では、シミュレーションの信頼性が担保できず、「原理原則に基づいて」無駄を排除していくことが難しい。成熟技術と思われていても、その基礎となる物理現象がきちんと観察されていないも

のは意外に多い。後述する強度部材中の残留応力は典型的な例である。疲労強度設計などで残留応力の効果を組み入れることは常識であるが、実は部材中の残留応力を直接計測できる手段は、現状では実用的には存在せず、全ては過去の制約された実験結果を適宜拡張して解釈しているに過ぎない。このことが、シミュレーションによる予測結果の信頼性を損ない、現実の設計においては大きな安全率による余裕設計にならざるをえないことになる。

このような問題の根源は、様々な擾乱により理想的なエンジニアリングのモデルと現実とが乖離していることである。機械製品で考えてみると、設計上で設定された形状や物性などの様々な製品属性は、製造プロセスで完全には実現されず、その相違が、製品や製造プロセスの理想性能を実現性能まで押し下げていることになる。どの程度乖離しているのか、その実態は、実用的な設計生産の現場では十分に把握されていない。

形状の変形、特に計測しにくい、あるいは計測できない内部形状の変形が性能の低下をもたらすことがある。製造中の形状構成過程と形状変形との対応が付けば、原理原則に基づいて、製造における形状変形を減少させていくことができる。成型過程における各種の内部欠陥や残留応力は製品部品強度に大きな影響を与える。これがきちんと把握できていなければ、過大な安全率を設定せざるを得ず、資源の多大な無駄を招くことになる。

このような問題を解決するためには、実用的な設計評価において問題となるような擾乱をデジタルシミュレーションのモデルに組み入れることが必要であり、そのためのものづくりの実態の可視化・計測技術が中核技術として重要となる。

2. 1. 3 実態の把握と設計における予測

原理原則に基づくものづくりにおいて、計測による実態の把握と設計における予測がどのように連携して、ものづくり技術を革新していくのかを考える。

革新製品の開発においては、実績のない製品新機能や製品構造、新素材や新加工法などが導入される。部品の望まれる形状や物性は製品設計で設定され、それらを総合して製品全体の機能は、計算機シミュレーションにより予測されることになる。設計で設定されたような形状や物性が、現物として実現できるか否かは、基礎的な材料や加工法の実験、試作製造装置による仮製造、量産設備による実生産試験など、段階を追って実物の計測により検証される。検証結果を取り入れて、計算機シミュレーションの精度を向上させ、製品機能や信頼性の予測能力を強化することが、これからの製品開発にとって極めて重要である。

このために、従来から多くの計測・検証手法が開発されてきたが、未だに不十分な分野は多い。特に直接計測プローブなどを挿入できない機械構造物の内部の形状や物性、内部欠陥、温度や電磁場の様相などは、計測が困難であった。基礎的な研究開発においては、大規模な装置を用いて、費用と時間をかけて計測することができるが、製品設計や生産設計の段階では、日々の業務の一環として迅速容易に計測できる必要がある。このような手段が利用可能となれば、現実的な製品の複雑さのレベルでの計算機シミュレーションの予測能力の検証が進む。それにより、実験検証が困難な新規開発製品についての設計予測能力が高まり、無駄な余裕を削減した極限設計へと近づいてゆくことができる。

製品の寿命や信頼性評価においては、寿命試験などのみならず、実際に使用されている製品の実態を計測し、その情報を設計段階へフィードバックすることは重要である。これらの情報は、製品のメンテナンスのためにも重要であるが、さらに、設計へフィードバックすることにより、設計段階で予測されていなかったような不具合についての知見が高まることが極めて重要である。従来は、計測設備の整備が遅れていることもあり、製品劣化についての情報が十分に集積されていなかった。

以上のように、様々な計測手段により、製品の製造から使用・回収・再利用・廃棄に至るまでの全ライフサイクルにおいて、部品形状、表面性状、内部物性や欠陥、汚染や腐食などを計測し、設計へフィードバックできるような技術体系が望まれる。これにより、設計における技術的な予測能力を高め、極限的な高効率・高信頼性製品の開発能力を強化することができる。

2. 2 中性子イメージング技術の適用課題

ものづくりについての計測への要求を考察し、その中から特に中性子イメージング技術が有効な応用分野を抽出する。近年、例えば自動車業界では、ハイブリッド車や電気自動車などの、従来とは構造が異なる車両の開発が要求され、そのために多様な計測への要求が議論されている。このような要求を基に、次世代のものづくりにおける中性子応用計測の有効性を明らかにする。特に、従来の計測技術では十分に対応できていない計測分野で、中性子応用で有効な成果が期待できる分野を取り上げた。ものづくり現場の優先順に以下のような課題を取り上げた。

- (1) 残留応力
- (2) 製品機能革新につながる計測課題：磁気、温度、介在元素など
- (3) きれつなどの各種内部損傷
- (4) 複合材に関する各種測定
- (5) 内部形状計測

上記は測定原理や対象から体系的に整理したものではなく、具体的な課題をわかりやすくするために、測定される物理現象、あるいは測定される製品分野の両面から、ものづくり現場の優先順に適宜まとめたものである。(1)の残留応力は、ものづくりの立場からは従来手法では十分に計測できておらず、産業界からの要望も強く、広い適用と効用が見込める基盤的な課題である。実用的な計測技術としての研究開発課題も多い。(2)は、現状では技術的な困難さが高く、今後の多くの基礎研究が必要とされるが、将来のものづくりを革新できる基盤的な課題である。(3)～(5)は、より実現性が高いが、個別分野への適用技術の開発が必要とされる課題である。

(1) 残留応力

外部からの荷重によらず機械を構成する部材内部に存在する応力を残留応力と呼ぶ。残留応力は、素材形成過程、機械加工、熱処理、表面処理、溶接・接合のような様々な要因により発生する。残留応力は、このような要因により意図せずに発生するものと、機械設計上の要求に応じて意図的に発生させるものがある。いずれにせよ、残留応力は機械の破壊・損傷に強く関係することが知られており、機械の設計・製作にあたって、その様相を把握しておくことは極めて重要である

残留応力は、延性破壊・脆性破壊、疲労破壊、環境影響破壊のような破壊現象に影響を及ぼす。残留応力の影響を考慮した破壊に対する疲労強度設計手法などが様々に研究開発されているが、現状では残留応力を信頼性高く実測することが困難であり、強度設計手法を検証することが困難である。一般的に、不確実性を補うために、大きな安全率をとって設計を行っている。残留応力の影響をより精密に考慮することができるようになれば、機械の軽量化・信頼性向上に大きく寄与することが期待される。

残留応力測定については、様々な手法が開発されてきたが、特に内部残留応力については、中性子回折手法を除いて有力な方法がない。ひずみゲージ手法は表面の残留応力のみが測定可能であり、内部残留応力の測定のためには、内部を削りだすことが必要であり、工数と時間を要し信頼性も低い。超音波を用いる手法は測定精度が悪い。X線回折や放射光回折による方法は、表面近傍のみの測定が可能である。産業界からは、特に残留応力測定について中性子応用の期待が高い。

中性子回折を利用した残留応力測定は、1990年代から徐々に研究開発されてきたが、主に原子力プラントなどの極めて高度な信頼性・安全性を要求するものが対象であり、強力な中性子源を要することとも相まって、一般的な工業製品への適用は進んでいない。計測手法自体も、計測対象の性質に応じて様々な対応が必要であり、関連する研究論文は多いが、日常的に利用可能な状態には至っていないものと思われる。そのために、残留応力を含む疲労強度設計手法なども一般化していない。

一般的で高精度な残留応力測定には、大型装置による強力な中性子源を必要とするが、個別の応用に限定すれば、小型装置でも対応でき、疲労強度設計の精度を向上させて、機械の軽量化や信頼性向上に実用的に役立てることは十分可能であると期待される。測定や製品設計の目的に応じて、大型装置や小型装置を使い分けることで、残留応力測定を実用化することができる。そのためには、小型装置でも測定可能な信頼性の高い計測手法とその限界を明らかにする必要がある。そのために、以下のような基礎的課題は重要である。

課題 1：焼入れ鋼材の表面付近の内部残留応力

自動車の駆動系など、動的な変動荷重が加わる安全基幹部品については、疲労破壊対策は重要である。鋼材に高周波焼入れを施して、表面近傍に圧縮残留応力を発生させ、疲労強度を向上させる。現状では、製造時の精密な残留応力の管理が難しい。また、使用時に繰り返し荷重を受けることで、経年変化として残留応力は劣化していくと考えられるが、実測されていない。現状ではこれらの不確かさを補うために、大きな安全率を設定せざるを得ない。焼入れ条件の確定、量産における焼入ればらつきの検証、経年変化による残留応力減衰の評価などが測定の目的である。

課題 2：鋼材溶接部の内部残留応力

鋼材で構成される各種機械構造において溶接は非常に普遍的な接合法であるが、溶接部位の強度的な品質を管理することは依然として困難な課題である。溶接部分の金属組織は不規則であり、溶接部位の外部の形状も表面が荒く複雑である。場所によってかなり高い圧縮・引張の残留応力が生ずる。溶接部位では、経年による疲労破壊や腐食損傷などが生じやすく、これらに影響を与える残留応力の状況を把握したいという要求は強い。溶接条件の確定、製造時の不具合検査、経年変化による残留応力減衰の評価、使用時の保守検査などが計測の目的である。

(2) 製品機能革新につながる計測課題

中性子線応用による計測によれば、従来は計測ができないか非常に困難だったものが計測できる可能性がある。次のようなものがあげられる。

内部流体：管路内の沸騰流、ヒートパイプの挙動、燃料電池内水挙動など

磁界：高密度・高出力モータなど

内部温度：IGBT 組込装置など

製造プロセス：射出成型プロセスなど

内部流体計測については、原子力施設関連などで膨大な応用研究開発がある。磁界や温度計測については応用研究例は少ないと思われるが、原理的には様々な研究がなされている。しかし、いずれも大型中性子線装置を必要とし、計測手法もものづくりの技術者が利用できるような段階にはないと思われる。小型装置を前提とし、ものづくり現場で日常的に利用するような技術とするためには、長期の基礎的な研究が必要であろう。

このような計測機能は、革新的な製品開発に極めて有効と考えられるので、ものづくり計測の基盤的な研究として先導して進めていくことが期待される。

(3) きれつなどの各種内部損傷

金属材料は、その製造時に発生する様々な材料欠陥や使用時の疲労により成長するきれつなどの欠陥により、想定される強度より低い強度で破壊する。欠陥は、結晶格子欠陥や不純物原子による極微小欠陥から、非金属媒介物に起因する微小空洞、そこから成長する様々なきれつなどがある。ここでは、構造物の破壊に直接的に影響するようなある程度大きな空洞（ボイド）やそこから成長するきれつを対象とする。

機械構造物の破壊を予防するためには、大きく成長して破壊に至る可能性のある欠陥やきれつを検出することが必要である。

課題 3：鋼材溶接部の内部欠陥

溶接部分に含まれるきれつや空洞を検出する。溶接部位やその近傍における破壊予知に必要であ

る。このために超音波探傷や X 線透視が適用されているが、鋼材で溶接表面が特に整形されていない場合には十分な検査ができていない。

課題 4：鉄道車軸・台車枠のきれつ

鉄道車両にとって車軸の損傷は直ちに大事故に結び付くため、極めて高い安全性が要求される。疲労による車軸の損傷は、昭和 30 年代には年に 1～4 本程度報告されていたが、設計や製造法が改善されて昭和 40 年代の後半からほぼなくなった。

車輪と車軸は一定の締め代をもった締まりばめとなっている。使用に伴い、内部や表面にきれつが発生し、はめ合い部にはフレット疲労が発生する。疲労破壊につながるきれつの検査のために、一定期間ごとに超音波探傷および磁粉探傷が行われている。精密な検査のためには、車軸から車輪を取り外して検査している。

台車枠は、鋼の型材を溶接によって組み立てたもので、溶接部に疲労きれつが発生することがある。きれつ発生箇所は限定されているので、その部分について塗装をはがして磁粉探傷を行っている。

現状手法では、検出能力が不足していたり、検査工数が多すぎることが問題である。車輪と車軸を取り外さずに効率の良い検査ができること、台車枠の塗装剥離を行わずに検査工数を削減できることなどが測定の目標となる。

課題 5：異種元素混入

異種元素混入による微細欠陥により破壊強度低下や脆化を招いたりする。例えば、溶接部には、溶接棒の吸湿等により水素が含まれている。水素が含まれると溶接部が脆化し、またその傾向は水素の量が多いほど顕著になる。溶接部に含まれる水素量を非破壊で検知することは溶接部の品質保証として重要である。

(4) 複合材に関する各種測定

機械構造物の軽量化を目指し、CFRP などの複合材の利用が始まっている。CFRP は、軽量でありながら強度が高い、など構造材として優れた特性を持っているが、現状では製造工程が複雑であり、材料としての品質を保証することは容易ではない。

基本的に、薄い炭素繊維を積層して樹脂を含浸させ加熱成型する。この過程で、炭素繊維素材の梱包材など様々な異物混入の可能性があるが、強度低下を招く恐れがある。また、機械を構成するために、金属材料など異種素材との接着・接合が必要となることがあり、確実に接着・接合されているか、検査手法が確立されていないため、品質保証が困難である。

現状では、一般に超音波による検査を行っているが、異物の種類や接着の界面の状態により、必要な検査が充分に行えないことが多い。今後、機能性に優れた複合材を一般化するためには、品質検査法の確立が極めて重要である。

また、CFRP の吸湿状態を計測することも強度評価上重要であるが、現状では良い計測法がない。

課題 6：CFRP への異物混入・異種材料との接着状態

CFRP 製造時に混入した異物を検出し、想定外の強度低下を防止する。また、異種素材との接着面において、接着剤の浸入度合いを計測する。接着強度を評価することは困難であるが、少なくとも浸入不具合は検出できる。

(5) 内部形状計測

ものづくりにおいては、直接計測がしにくい固体内部形状を計測することは基本的な計測機能として重要であり、広い応用がある。特に、従来の X 線 CT では透視できなかったような金属素材について、中性子で対象の範囲が広がることが期待される。

例えば、機械の機能・強度部品となるような鋳鉄部品について、直接計測できない内部形状を、一定の精度で 3 次元計測することなどがある。肉厚が 20mm 以上あるような鋳鉄部品では、X 線 CT などでは鉄を十分に透視できず、内部形状の観察は難しい。

2. 3 ものづくり支援ソフトウェアとの連携

実態計測の結果を活用して、設計における機能や信頼性の予測能力を向上させるためには、デジタルエンジニアリングとの結合が不可欠である。計測結果により現物に則した情報をデジタルシミュレーションのモデルに取り込み、現実に近い機能や信頼性のシミュレーションを可能とする。

デジタルの世界で設計機能評価を行うものづくり支援ソフトウェアは、市販システムとしても数多く提供されるようになり、製造企業にも広く普及しつつある。一方、形状計測を主体とした、いわゆるリバースエンジニアリングのソフトウェアも、機能が成熟し基本的には容易に手に入るようになってきた。しかし、機能評価や信頼性評価に必須の物理特性を計測し、それらをデジタルエンジニアリングのモデリングへ付加していくような汎用的なソフトウェアはほとんど見られない。中性子イメージングの計測結果を有効利用するためには、今後このようなソフトウェアの開発が重要になる。

要求されるソフトウェアシステムの機能的な概念図を、図 2-1 に示す。実現された製品に関する計測結果を取り入れて、製品強度や疲労寿命などの予測能力を高めることにより、材料使用を極限まで削減した軽量化設計などを実現し、信頼性が高く資源消費を抑制した製品の製造が可能となる。

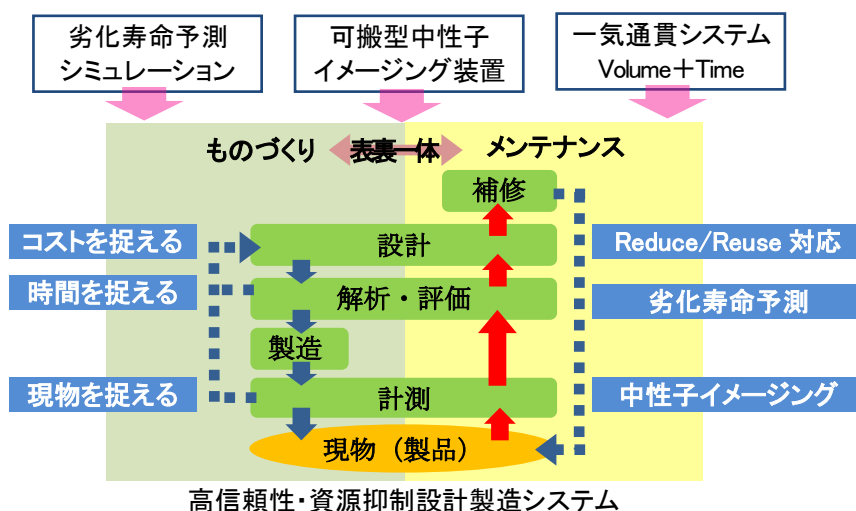


図 2-1 高信頼性・資源抑制設計製造システム

3. おわりに

小型中性子源による中性子イメージングシステムにより可能であると期待される産業応用の計測について、大型構造物のメンテナンスのための非破壊検査や極限性能を発揮させるためのものづくり分野について、小型中性子イメージングシステム検討委員会で検討を行った。その報告書から主にものづくり分野に関係する部分を抜粋・要約した。実用的な産業応用計測技術とするためには、装置開発を進めて実証的な研究開発を広範に行う必要がある。

参考文献

- [1] 理化学研究所 小型中性子イメージングシステム検討委員会報告書、2010 年 1 月