

75 周年記念事業

精密工学会

技術ロードマップ

75 JSPE Anniversary



社団法人 精密工学会

精密工学会技術ロードマップ 目次

1.	はじめに.....	1
1.1.	技術政策と精密工学会.....	1
1.2.	技術ロードマップ活用戦略.....	3
2.	技術分野.....	6
2.1.	設計システム分野.....	7
2.1.1.	設計システム分野における技術戦略の概要.....	7
2.1.2.	次世代CADシステム開発の進むべき方向.....	7
2.1.3.	設計システム分野の重要技術マップ.....	7
2.1.4.	設計システム分野への精密工学会の貢献.....	8
2.2.	生産システム分野.....	12
2.2.1.	生産システム分野における技術戦略の概要.....	12
2.2.2.	生産システムに関する主要項目.....	12
2.2.3.	生産システム分野の重要技術.....	12
2.2.4.	生産システム分野への精密工学会の貢献.....	13
2.3.	加工技術分野.....	16
2.3.1.	加工技術の考え方.....	16
2.3.2.	加工技術分野技術マップの構成.....	17
2.3.3.	加工技術分野の重要技術マップ.....	18
2.3.4.	加工技術分野への精密工学会の貢献.....	18
2.4.	測定技術分野.....	22
2.4.1.	測定技術分野における技術戦略の概要.....	22
2.4.2.	測定技術分野での重要技術.....	23
2.4.3.	測定技術分野への精密工学会の貢献.....	23
3.	学会の役割.....	25
3.1.	学術コミュニケーションの強化.....	25
3.2.	若手会員の開拓.....	25
3.3.	学会の国際化.....	26
3.4.	技術教育支援.....	27
3.5.	学会の発展ロードマップ.....	29
3.5.1.	精密工学会の将来像.....	29
3.5.2.	精密工学会の役割.....	30
4.	おわりに.....	32
	謝辞.....	32
	執筆者一覧.....	33

1. はじめに

精密工学会はものづくりを対象とする学会として、世界最古の歴史、世界最大の会員数、そして世界最多の論文数を誇る。その歴史は 1933 年、火兵学会の中に精機協会が設置されたことに遡り、以後、加工・測定・機構を中心とする学会として発展し、戦後は生産技術の学会として製造業の中核を担ってきた。また、設計学、ロボット工学、医用工学などの「先端技術を生み出す学会」として機能してきた。

しかし、精密工学会を取り巻く環境は大きく変化した。持続性社会の構築が必須かつ喫緊の課題となり、少子高齢社会、地球規模の経済競争などと共に、かつてない複雑な状況を醸し出している。精密工学会が 100 周年を迎える時においても社会に貢献し続ける学会であることを願うなら、今後、25 年間に亘る技術変化をしっかりと見据え、学会活動の戦略を策定すべきと考え、ここに精密工学会の技術ロードマップを構築する。

学会が社会で果たすべき役割については第 3 章で詳細を検討するが、ここでは概略を定義しておきたい。

従来、学会は個々の会員の活動の総和として発展し、新技術を開拓してきた。しかし、精密工学会を取り巻く環境条件が大きく変わった今、個の研究の自由度は許しながらも、本学会は精密工学の発展を追求する使命がある。21 世紀の精密工学とは「持続性社会における価値作り」とであると定義する。すなわち、物質的なものづくりに限定することなく、ソフトウェア、機能、そしてその保守、運用、加えてリサイクル、リユースのそれぞれの場面で、精密工学の知に裏付けられた高機能化、高付加価値化を実現し、価値創出を促進すべきと考える。そのために、基盤技術としてもものづくり技術を高め、一方、ものづくりに関わる先端技術を積極的に研究開発することが重要である。その方法として、精密工学に関する教育支援もまた重要な使命であると考ええる。

2007 年度、2 種類のモノづくり技術ロードマップが世に出た。(財)製造科学技術センターより発行された「平成 19 年度次世代社会構造対応型製造技術の体系・統計調査報告書」(平成 20 年 3 月)(以後、MSTC マップと呼ぶ) [1]と横断型基幹科学技術研究団体連合によるアカデミックロードマップモノづくり編(以後、横幹連合マップと呼ぶ) [2]である。また、経済産業省はここ数年、技術戦略ロードマップを様々な分野で構築しており、2008 年度版[3]が作成されている。精密工学会は MSTC マップを主として参照し、設計システム分野、生産システム分野、加工技術分野、測定技術分野の 4 分野について、精密工学会の技術ロードマップを作成する。加えて、これらの技術ロードマップを活用し、精密工学を発展させるために、学会が果たすべき役割について検討する。

1.1. 技術政策と精密工学会

学会は学問分野の発展を推進する組織である。しかしながら、製造業という経済活動と強く結び付いた社会システムに関わる精密工学会では、個人的興味

のみを追及するのではなく、有用性かつ戦略性を十分に配慮していく必要がある。それゆえ、学会の技術ロードマップは当然、国の技術政策との関連の上に描かれるか、逆に、学会の技術ロードマップを基に国の技術戦略が構築されるべきものであろう。

国としての技術政策は、日本国家ならびに所属する企業の競争力強化を実現できるものでなくてはならないから、競合国である欧米施策を見越して立案・実施[4]しなければならない。米国はイノベートアメリカ[5]の実施版として **Manufacturing in America[6]** を発表、ハイテク産業が 2000 年に急落した事実を鑑み、製造力強化施策を 63 の推奨項目にまとめ、特にコスト削減、イノベーション、教育、国際関係、輸出振興などに加えて、組織として製造担当大統領次官補と大統領製造諮問会議の設置などを挙げている。EU は 2000 年にリスボン戦略[7]を採択、「知識駆動型経済」の構築を目標に EU 第 6 次フレームワークプログラムを策定し、「欧州研究圏の構築」、「研究者の流動性向上」、「R&D 投資目標（民間含む）を GDP 比 3.0%」の実現を目指している。知識駆動型経済に適応するための経済改革の遂行と人的資源への投資を通じた欧州社会モデルの強化などを具体施策として取り上げ、実現するには製造イノベーションが不可欠との観点から、2004 年 12 月に **manufuture2020[8]** を策定、高付加価値雇用を確実にして世界製造における勝者となることを目標に、具体戦略として、研究とイノベーションによる産業化のスピードアップを図るとしている。

我が国の科学技術政策は、内閣府総合科学技術会議が立案、各省庁が具体施策を策定し、各省庁と傘下の JST, NEDO 等が予算配分、大学・民間等を含む研究機関が実施する構造である。長期的には 2025 年を見据えたイノベーション 25 が策定され、ものづくり技術[9]については、①団塊の世代が有する知識、ノウハウ等の現場の技術・技能の継承、②共用設備・施設、各種データベース等のものづくり知的基盤の強化、③研究開発成果品の政府調達・初期需要形成、規制緩和の推進等を掲げている。

1996 年に創始した科学技術基本計画は現在第三期の 3 年目で、重点推進分野としてライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料を、推進分野としてエネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティアを掲げ、その総予算は凡そ 3 兆 6000 億円/年[10]であるが、いわゆる「ものづくり技術分野」に特化した配分は僅か 1%に満たない。この現状を精密工学会会員は先ず認識しなければならない。重点推進分野の予算枠でもものづくりに関連するものも見られるが、ものづくりを国家基盤として標榜するには寂しい限りである。ものづくり技術の開発は民間に委ねていけばよいとの方針を見直し、中長期的な競争力強化に向けて、その基盤となる「ものづくり科学分野」に対する直接的投資を真剣に検討するべきである。

日本学術会議は「ものづくり科学のあり方」を報告予定[11]であり、ものづくりに最も関連が強い精密工学会は、「もの」の開発・設計・生産の基本を左右する工学基礎、ナノテクノロジーやバイオテクノロジーなどの先端工学、「もの」の使用・廃棄・回収と再利用、および人間・自然環境との調和を考慮する

ための環境学,さらには「もの」の市場と経済価値を論じる上で不可欠の社会,文化,経済・経営学等とも連携し,「もの」の開発目的に合わせて知識を統合ないしは収斂(**Converge**)し,推進中の第3期科学技術基本計画が目指す政策目標(社会イノベーション)の実現に寄与すべきである.

このように見てくると,日本国内だけを見ても多くの組織がそれぞれの技術戦略を描いていることがわかる.それらの関係を図1-1に示す.この中で,本技術ロードマップは前述のようにMSTCマップと横幹連合マップとを参照した.

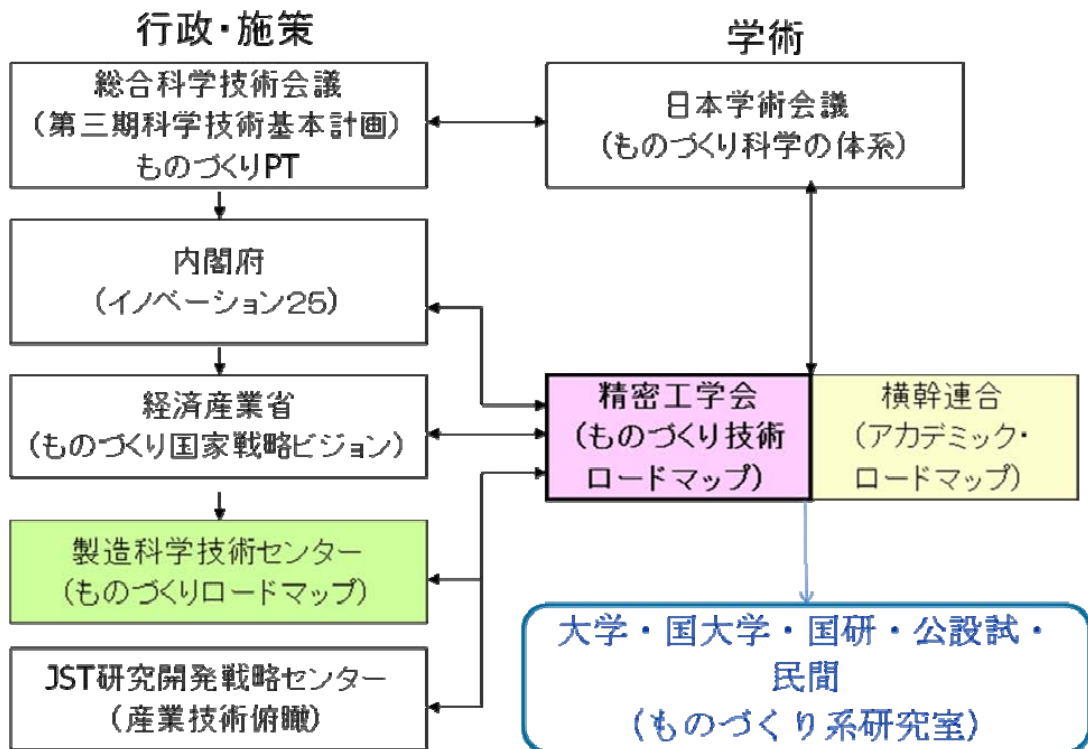


図1-1 ものづくり技術戦略の位置づけ

1.2. 技術ロードマップ活用戦略

このような状況の中で,精密工学会における技術ロードマップ作成の意義,そして技術ロードマップを用いた学会の戦略的活動について考えてみる.

● 戦略分野推進

精密工学会は,常に新しい分野の開拓に挑戦してきた学会である.本学会でインキュベーションされ,多くの研究者を巻き込んで独立したとみなされる学会も多い.このような開拓は,従来は意欲的な学会員の個別的な活動から芽吹いて大きく成長することが多かったように思うが,技術ロードマップを参照することによって,学会の戦略として組織的にそれに取り組むことが考えられる.

このような戦略分野の決定は実際には非常に難しい選択となるが、技術ロードマップがそのベースとなることが期待される。

● 政策提言

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)における気候変動に関する科学者の提案が政策に大きな影響を与えたように、複雑化・深刻化する問題に対し科学的根拠に基づく積極的な提言が重要なものとなってくる。ものづくり技術は持続性社会の構築技術であり、かつ、経済基盤の活性化技術であり、さらに社会技術の特性が強まっているなど、ものづくり分野の中心的存在たんとする精密工学会から提言を行うことは非常に意義のあることである。技術ロードマップは多くの識者の知見を集約したもので、個別の技術開発動向はもちろんのこと、それらを俯瞰することによって、提言を策定する上での有効な基礎資料となる。また、生産学術連合会議、エコデザイン連合、横幹連合などの横串型組織を積極的に活用し、最終的には日本学術会議で集約されて提言する。

● サービス提供集約

グローバル化によって、日本人研究者も多数の国際学会の会員になっている。たとえばある大学教授は、精密工学会、日本機械学会、計測制御学会など 10 国内学協会、IEEE、CIRP など 4 国際学会の会員である。生産学術関連の国際学会だけを見ても、IEEE で代表されるような広範な学問分野をすべてカバーすることを目指す巨大学会と、小規模な専門学会に分かれている。加えて従来は学会が発行していた論文掲載誌を世界的な出版社が扱うようになり、その宣伝力、販売力に WEB 利用の新サービスが結びついて、集中化の傾向がある。精密工学会のような、専門志向中型学会では、大学並みのサービスを求められるが、それだけの規模はなく、結果的に提供するサービスの選択と集約が必須となる。そのためには、学会がどの方向に向かっているかについての会員間合意形成が重要であり、その根拠を技術ロードマップに求める。

サービス提供内容が選択されれば、学会経営として効率的方法の設計ができるようになる。幸い、精密工学会は諸学会の中でも技術導入においては先導的であった。特に、50 周年記念事業として、コンピュータシステムの導入、国際化、をすすめた実績を持つ。この 75 周年においても、学会が提供するサービスを多様化しつつ、効率化する。

索引

- [1] 製造科学技術センター：平成 19 年度次世代社会構造対応型製造技術の体系・統計調査報告書，平成 20 年 3 月。
- [2] 横断型基幹科学技術研究団体連合：学会横断型アカデミック・ロードマップ報告書，平成 20 年 3 月。
- [3] 経済産業省：技術戦略マップ 2008，http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str2008.html
- [4] <http://www.h4.dion.ne.jp/~jssf/text/doukousp/backnumber.html>

- [5] <http://innovateamerica.org/webscr/report.asp>
- [6] <http://www.manufacturing.gov/initiative/index.asp>
- [7] <http://eu-info.jp/law/lisbon.html>
- [8] <http://www.manufuture.org/>
- [9] <http://www.cao.go.jp/innovation/innovation/point.html>
- [10] <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/kihon3.html>
- [11] 日本学術会議： 21 世紀ものづくり科学の体系に関する提言 (予定)

2. 技術分野

精密工学会の紹介パンフレットによれば、精密工学会の対象分野は図 2-1 のように表現されている。この中で、設計システム、生産システム、並びに加工技術を MSTC マップで扱った。メカトロニクスは製品あるいは応用機器から成り立っており、それらの多くは経済産業省の技術ロードマップにて扱っているものが多い。本ロードマップは、精密計測技術を加えて、(1)設計システム分野、(2)生産システム分野、(3)加工技術分野、(4)測定技術分野の 4 分野について技術ロードマップを作成する。



図 2-1 精密工学会の分野構成

2.1. 設計システム分野

2.1.1. 設計システム分野における技術戦略の概要

CADシステムは製造業における製品開発業務に直接的な影響を与える重要なツールとして位置付けられる。1980年代に2次元の図面作成ツールとして世に出現した後、サーフェイスマデラを基本とした第一世代3次元CADが1990年代に開発され、現在では、フィーチャーパラメトリック機能を有するソリッドモデラ3次元CADが主流となっている。このように、CADシステムの機能向上は、その開発当初から今日に至るまで着実に進められているが、現有技術をベースとした3次元CADには機能的な限界が見えてきているとの指摘もあり、次世代CADシステム開発の必要性が唱えられている。

MSTC マップにおいては、設計システム分野における次世代技術戦略の重要課題として、CADを採りあげ、今後の我が国におけるCAD関連技術の展開について方向付けを行っている。

2.1.2. 次世代CADシステム開発の進むべき方向

CAD機能の向上により、解析との連携が可能となり、PC版の低コストCADシステムの開発によるパーソナルCADが普及しつつあり、下流工程の業務を設計者が担当する「フロントローディング」が進んだ。しかし、現状のCADシステムにおいては、①操作性が悪い、②CAD—CAE間のデータ変換が必要、③殆どのCADが欧米製で日本的ものづくりの支援システムとしては必ずしも適合しない、などの問題が指摘されている。

日本の製造業がアジアを中心とする諸国の追い上げに対抗して勝ち残るためには、a)最新機能、先端技術、高品質の提供による「ブランド」の確立、b)持続型社会に対応したサステナブルマニュファクチャリング技術の徹底的な展開、c)日本のものづくりの特徴としての「すりあわせ文化」に対応した製造支援システムの開発が重要である。

すなわち、日本にあった開発システムの姿として、①構想設計から詳細設計まで一貫して高品質、高機能を追求でき、試作プロセスを最小化できるシステム、②ノウハウの埋め込み機能とその流出防止が完全なシステム、③製品開発の上流である構想設計段階から様各種解析が可能なシステム、④操作が簡単でマニュアル無しでも使えるシステム、⑤安全や環境などの規制に対処できるシステム、⑥日本のものづくりに適合したシステム、を描くことができる。

2.1.3. 設計システム分野の重要技術マップ

前項に述べた次世代CADシステム開発への期待像に対して、これを実現するための重要技術項目の抽出が、以下のとおり行われた。すなわち、サステナブルマニュファクチャリングの展開と日本の製造業に適した製品開発システムの構築に関する技術マップの構築が行われた。以下に各項目について概説する。

①設計管理技術：新製品の設計・開発から廃棄に至る、製品ライフサイクルの各段階において実施される設計・技術部門の諸活動に関する管理業務とそれを支援する情報技術。

②設計・生産技術活動支援技術：新製品の設計・開発で製品設計者が実施する設計・技術活動において、設計作業の効率化と設計品質の確保を支援し、製品設計者が自ら活用可能なツール

③モデリング技術：3次元プリンタの高度化によるデジタルデータによる形状の確認や3次元データの受け渡しを容易にする新しい考え方に基づく3次元データ交換技術。

④現物融合技術：現物からのモデルデータの生成、また、現物をスキャンしたデータを用いたモックアップ技術、シミュレーション技術。

⑤ナレッジ管理・運用技術：設計プロセスの収集とプロセス支援技術、さらに設計の判断を支援する技術。

⑥性能シミュレーション技術：操作性の向上、モデル作成の簡易化技術、複数の事象の複合解析が可能なマルチフィジックス解析技術の開発。

⑦基盤情報技術：ネットワーク技術を活用した、設計製造支援ソフトウェアシステムの実現。

各技術課題に関する、下位分類項目や要素技術については、別表（図 2.1-1）にまとめた。さらに、重要技術に関するロードマップを図 2.1-2 に示した。

2.1.4. 設計システム分野への精密工学会の貢献

以上に述べたように、今後ますます熾烈になる国際的な競争環境のなかで、我が国の製造技術が勝ち残るための重要技術項目として、設計技術としての次世代CAD・CAE技術開発の推進が挙げられる。精密工学がこの目標に向けた貢献を果たすには、以下の技術課題の実現のために、ハードとソフトの両面からの要素技術の開発を中心として、今後5年～15年のスパンでの積極的な開発研究の実施が期待される。

①モデリング技術の開発：3次元プリンタの高性能・低コスト化

②シミュレーション技術の開発

③インバースマニュファクチュアリングを含む現物融合技術の開発

④高度バーチャルリアリティ技術の開発と設計プロセスへの適用技術

精密工学会が網羅する主な学術研究分野について見ると、本技術ロードマップに直接的に関連するのは、設計・生産システム（LCA, CAD/CAM, モデリング, 設計論, 自動化, 知能化など）であろう。しかし、次世代の高度設計システムを実現する為の、関連技術分野は、そのハードウェアの実現に関連する技術として精密加工分野やメカトロニクス分野は、必須である。

ものづくり技術戦略マップ（設計技術）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
設計・技術管理支援機能	構成管理(形態管理)	販売・製造段階の構成管理	販売・製造する製品の設計形態の変更管理	販売・製造する製品の設計形態の、①初期形態を設定・記録し、②必要となった設計形態の変更内容を決定し、③決定した変更に関する諸活動を実施展開する、④変更に必要な諸活動の実施状況を追跡・確認する。
			製造指示形態の展開・発行	客先との契約仕様に対応する製品を実現するために、設計形態のオプション構成から製造指示形態を展開し、発行する。
			出荷形態(組込形態)の記録	上記の製造指示形態に基づいて製造された製品の、出荷時の形態(組込形態)を記録する。(製造品質のエビデンスであり、以降の運用/保守(客先支援を含む)段階での形態管理の出発点。)
		運用/保守段階、廃棄段階の構成管理	運用形態の設定・記録	運用条件又は任務に見合った形態を設定し、結果を記録する。(軍や宇宙開発では、“任務形態:Mission Configuration”という。)
			保守形態の設定・記録	(客先又はメーカーでの)保守時の形態を計画・設定し、結果を記録する。
			不具合解析支援機能	不具合発生時に、出荷形態(組込形態)、運用/保守時の形態記録を分析して不具合原因を解析し、リコール範囲を決定する。
		設計・技術データの参照/連携管理	廃棄形態の確認・記録	運用/保守の結果としての、廃棄時点での形態を確認し、廃棄結果となる形態を記録する。(運用形態/保守形態の正確な履歴記録が鍵。)
			設計・技術データの参照/連携関係の関連付け管理	設計・技術活動の進捗に伴う設計・技術データの各版において、関連する設計・技術データ間の参照/連携関係を、製品設計データを中核として関連付ける。(製品設計一解析、製品設計一工程設計一NC Pgm/検査指示 Pgm)
			設計・技術データの参照/連携関係の履歴追跡管理	関連する設計・技術データ間の参照/連携関係を、製品設計データを中核として、且つ、各データの各版を時系列に沿った履歴追跡を可能とする。(製品設計一解析、製品設計一工程設計一NC Pgm/検査指示 Pgm)
			製造記録データの追跡管理	製造記録(品質記録)として、①工程設計データを出発点として、下記のデータを追跡可能とする。②NC Pgm/検査指示 Pgm、③個別製品の加工記録、検査記録。
設計・技術活動支援機能	製品モデリング技術	概略形状/基本形状設定の簡易操作機能	概略形状/基本形状設定の簡易操作機能	構想設計/機能設計における概略形状/基本形状の簡易設定機能
	“部位機能”データモデルと“機能実現設計”アプローチ	部位機能・部位仕様データモデル	部位機能・部位仕様データモデル[A]	要素・部品上の部位に対して割り付けられた機能・仕様を表現するデータモデル。(技術データ中の最上位に位置付ける。)⇒ISO 10303 4x Resource Model ⇒ISO 10303-203, 214 将来 Version
		要素・部品、部位に関する標準辞書	要素・部品、部位に関する製品群別国際標準辞書【α】 要素・部品、部位に関する各社標準辞書【β】	要素・部品、部品上の部位に関する(用語の)製品群別国際標準辞書。<ISO 13584-42 PLIB標準辞書記述規格を活用> 要素・部品、部位に関する(用語の)各社標準辞書。<製品群別国際標準辞書【α】を各社向けにカスタマイズ><ISO 13584-42 PLIB標準辞書記述規格を活用>
モデリング技術	モデル入出力技術	3次元出力	3次元プリンタ 3次元ディスプレイ	
	形状モデル表現	離散表現	点群 ポリゴン デクセル・ボクセル	境界の離散的な表現 境界の離散的な表現、細分割曲面を含む ポリユームの離散的な表現
	形状モデル生成・修正	属性の付加と抽出	寸法や公差 フィーチャ 組み立て	
	モデルデータの統合	データ交換	CADシステム間のスムーズなデータ交換 境界表現とポリユーム表現モデルの交換 連続体表現と離散表現モデルの交換	
	現物融合技術	モデル処理技術	リバースエンジニアリング技術	CADモデル生成
CADモデル修正				スキャンデータによるCADモデル修正
GAEモデル生成				フィーチャー付与・削除による、
設計支援技術		現物設計技術	まるごとスキャン技術	製品全体を丸ごとスキャンしモデル化
			現物モデルによる設計	モックアップからのCADデータによる設計
			現物モデルによるDMU (Digital Mockup)	現物(購買品等)のスキャンモデルと自社開発製品のCADモデルによるDMU
現物シミュレーション技術	現物コピー技術	現物をスキャンしRP等により複製を作成し試作検討		
	現物モデルによるシミュレーション	スキャンモデルを用いたシミュレーション、シミュレーション・実験適合化		
理・レ技術運用技術	設計プロセス	試行錯誤支援	判断のサポート	判断材料の提供(数値、非数値情報)
		ナビゲーション	プロセスの自動収集	オペレーションログの収集/分析
		プロセスの組み込み	チェック機能の組み込み(手動、自動)	部分最適化から全体最適化へ

図 2.1-1(a) 設計システム技術の重要技術マップ (MSTC マップより転載)

性能シミュレーション技術	有限要素解析技術	モデル化技術	六面体自動メッシュ技術	解析現場のCPUパワーの制限の中で、解析精度を確保することが出来る
			メッシュレスモデル化技術	更に、進んで解析に適したメッシュを意識せずに解析ができるようになる
			CADモデル→CAEモデルへの自動変換技術	解析に適したモデルへの修正を意識せず、CADモデルをそのまま解析に使用できることで、解析時間の短縮に結びつけることが出来る
		マルチフィジックス解析技術	部品間結合の自動化技術	同上
			複数性能の連成問題解析組み合わせ技術	強度、剛性、操縦安定性、乗り心地、振動、騒音、熱、電磁場、衝撃の組み合わせ解析を自由に選択し、実現象により近い解析ができる
	最適化技術	複数性能最適化技術(MDO解析技術)	左同	個性の異なるソフトを組み合わせる技術、インタフェースソフトを開発しより複雑な連成問題が解析可能となる
	シミュレーションデータ・マネージメント技術	解析と実験データ管理技術	解析データと実験データの統合管理技術、大量データ集積、分析、管理、検索技術	個性の異なる解析データと実験データを一元管理することで現場で使えるデータベースになる
		ユーザビリティ技術	データ管理カスタマイズ技術	製品設計にマッチしたのデータベース構築、データベース管理が容易にカスタマイズ可能になる
			データ検索技術	音声認識も視野に入れ、開発者が必要とするデータ検索が短時間に出来る
	シミュレーション自動化技術	ユーザビリティ技術	ナレッジベースを基にした解析ナビゲータを組み込んだ自動化技術	ナレッジベースを組み込むことでモデル化、解析条件、解析経過、解析結果の妥当性評価を自動的に行うことができると同時に解析ノウハウの伝承が確実に出来る
ソルバを意識しない解析技術			解析条件を定義すると、その解析に必要な複数の解析ソフトが裏で自動的に走り、結果が表示される	
基盤情報技術	ユーザーインターフェイス技術	マルチモーダルインターフェイスの進歩	知識ベース検索機能(テキストではない、感覚を利用したデータ検索の実時間表示)	音声による予備操作を行いながら、過去の関連する不具合等を、形状認識機能を用いて、過去事例を強化現実感の中で重ね合わせる(非拘束・環境重量型インターフェイス)。
		ネットワーク技術	設計動作ナビゲーション機能	同期型：リアルタイムなテレレイグジュスタンス型のリモート可視化による、コラボレーション設計機能
	リモート可視化によるコラボレーション設計機能		非同期型：設計再現型(マルチモーダル)による非同期型のリモート可視化による、コラボレーション設計機能	アバター、仮想人物を解したリモート操作を実現する。また、軽量データを用いたDMU操作を実現していると考ええる。この場合、没入感を実現した仮想現実が必要である。即ち、リモート環境における設計者同士の一体感が必要であるため。
	即時解析型設計並行処理支援機能		設計途上の製品設計情報からデスクトップCPU解析、部門毎のセンターCPU解析、企業毎のスパコン解析等をリアルタイム実行する。	特に非同期型システムは、大学の設計教育、企業の新人設計者教育にも利用可能。
				これを実現するため、大規模データを高速に転送する、解析結果をCAD製品形状に重量表示(強化現実:AugmentedRealityの手法)できる、等が必要と考える。

図 2.1-1 (b) 設計システム技術の重要技術マップ (MSTC マップより転載)

ものづくり技術戦略ロードマップ（設計技術）

大分類	中分類	小分類	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
設計・技術管理	構成部品管理(形態管理)	販売・製造段階の構成部品管理	販売・製造段階の構成部品管理																
		運用／保守段階、廃棄段階の構成部品管理	運用／保守段階、廃棄段階の構成部品管理																
設計・生産支援機能	製品モデリング技術	設計・技術データの参照／連携管理	設計・技術データの参照／連携管理																
		製品モデリング技術	製品モデリング技術																
モデリング技術	モデル入出力技術	3次元出力	3次元出力																
		形状モデル表現	形状モデル表現																
		形状モデル生成・修正	形状モデル生成・修正																
		モデルデータの統合	モデルデータの統合																
現物感技術	モデル処理技術	リバースエンジニアリング技術	リバースエンジニアリング技術																
		設計支援技術	設計支援技術																
理・運用技術	設計プロセス	試行確認支援	試行確認支援																
		ナビゲーション	ナビゲーション																
性能シミュレーション技術	有限要素解析技術	モデル化技術	モデル化技術																
		マルチフィジックス解析技術	マルチフィジックス解析技術																
	最適化技術	解析性能最適化技術(MDO解析技術)	解析性能最適化技術(MDO解析技術)																
		シミュレーションデータ・マネージメント技術	シミュレーションデータ・マネージメント技術																
基礎情報技術	ネットワーク技術	リモート可視化によるコラボレーション設計機能	リモート可視化によるコラボレーション設計機能																
		即時解析型設計並行処理支援機能	即時解析型設計並行処理支援機能																

図 2.1-2 設計システム技術の重要技術ロードマップ（MSTC マップより転載）

2.2. 生産システム分野

2.2.1. 生産システム分野における技術戦略の概要

生産システムは、地球環境と社会との相互関係をもちながら人類に有用なもの（人工物）を作ることによって企業を存続させ、同時に人が生活をする場を与えるものと考えられる。生産システムの重要な機能は、①生産プロセス技術、②生産管理・情報技術、③環境を考慮したサステナブル・マニュファクチャリング、④社会を考慮したサステナブル・マニュファクチャリング、⑤生産システムの設計・評価技術から成るであろう。MSTC マップにおいては、主として上記②と⑤に関して方向付けを行っている。

生産活動とは製品ならびにサービスの価値を生みだし、提供し、それによる対価を得るものと定義した。まさにこれは図 2.2-1 に示すように、「人」と「もの」と「情報」の 3 つの要素が織りなす関係そのものである。そして重要事項は、「もの」と「情報」が巧妙に組み合わせられた製品技術と、「人」と「情報」が仕組みを提供するビジネスモデル構築の 2 つであり、それらを支援するものがものづくりシステムとサービス創出システムになる。

2.2.2. 生産システムに関する主要項目

生産システムのシナリオとしては、「産業基盤の整備」、「既存産業の高度化」、「ニュービジネスの創出」を主要分類として抽出し、改良改善によって進歩していく仕組み・技術と、飛躍的な転換の図られる仕組み・技術を交えて、未来の技術マップを作成した。技術戦略マップを図 2.2-3 に示す。

(1) 産業基盤の整備：「意図せざる技術流出の防止」のための技術のブラックボックス化が重要課題である。そのためには産業構造改善、人材育成、競争環境の整備がキーワードとなる。

(2) 既存産業の高度化：従来からの日本製造業のコアコンピタンスの重要な 1 角であるリーン生産システムの高度化のための改善・改良（既存産業の改良・改善）、既存の市場からの新しいシーズを具現化したり、シナジー効果を発揮して組み合わせ技術開発による新製品開発（革新的展開）、トップダウンの新しい事業戦略に基づく戦略的アプローチの強化が必要不可欠である。

(3) ニュービジネスの創出：市場創造型の新製品や新サービスの開発、新ビジネスモデルの構築が必要不可欠である。図 2.2-2 は新製品・サービスによりどのような変化がもたらされるかを、暮らす(Life)、診る(Health)、移動する(Mobility)、知る(Information)、楽しむ(Leisure)といった観点から纏めたもので、興味深い。

2.2.3. 生産システム分野の重要技術

ものづくり技術全体にとって何が重要なのか、製造業全体への波及効果、日本の競争力強化、社会的な安全・安心を確保する技術であるかどうか、持続性社会構築に貢献する技術かどうかという視点から、以下の 5 つの最重要課題を抽出した。

(1) バーチャルマニュファクチャリング：一般的になっている言葉ではあるが、未だに完全なものとなっていない。コンピュータ上で生産システムのすべてを

模擬することによってシステムの最適化や見える化を行うものであり、様々な事前評価が可能になり、省資源、省エネルギーに大きく関連する。

(2) 人・ロボット協調生産：少子化による労働力低下や作業者の高齢化にともない、闇雲に自動化を図るのではなく、ロボットが人に優しく協力しながら生産できるシステムが肝要になる。そのためには人が安心して、かつ協調して働けるような賢いロボットの具現化が不可欠であり、これからのキーとなる技術である。

(3) 動脈・静脈一体生産システム：これはインバースマニファクチュアリングに近い概念であり、素材から製品への順方向生産システムと製品廃棄から素材へ戻す逆方向生産システムを共に考えたリーンで環境対応型のシステムと言える。

(4) トータルトレーザビリティ：製造された製品や部品の生産から使用、再利用から廃棄までの各プロセスを追跡できる技術の総称で、その実現にはセンサ、画像処理、計測技術、遠隔制御などの発展にかかっている。安全・安心をサポートする重要技術になる。

(5) ゼロエミッション工場：すべての産業廃棄物を循環資源として活用し、埋立や単純な焼却をゼロにするような工場を指す。簡単には実現しないように思われるが、環境保全という観点からは開発する価値が十分にある。

2.2.4. 生産システム分野への精密工学会の貢献

これからも、日本がものづくり領域の研究開発、産業創出において国際的に先導的役割を果たすためには、前述したような生産システム分野のフロンティアを切り開く高度専門技術者の養成が急務である。彼らはハードウェアの知見はもちろんのこと、ソフトウェア、さらにはビジネス、経済、医療、福祉といった他分野を含めた幅広い知見を有していることが必要である。精密工学会は、他の学会を横断的に結びつけている生産学術連合会議や横幹連合等を基軸としてその重要性を啓蒙し、融合領域研究、精密工学に関する新技術の開発研究を通じ、創造性豊かな優れた研究・開発能力を持った研究者、技術者を養成するための機会を創出していかなければならない。さらには研究者、技術者相互の情報交換、鍛錬の場を提供する必要もあろう。

さらには、学会内に築いた上記の研究者、技術者のヒューマンネットワークを基盤として、産学官連携研究による大型外部資金導入を活性化させ、新技術開発を促進させることにより、企業へも貢献すべきであろう。

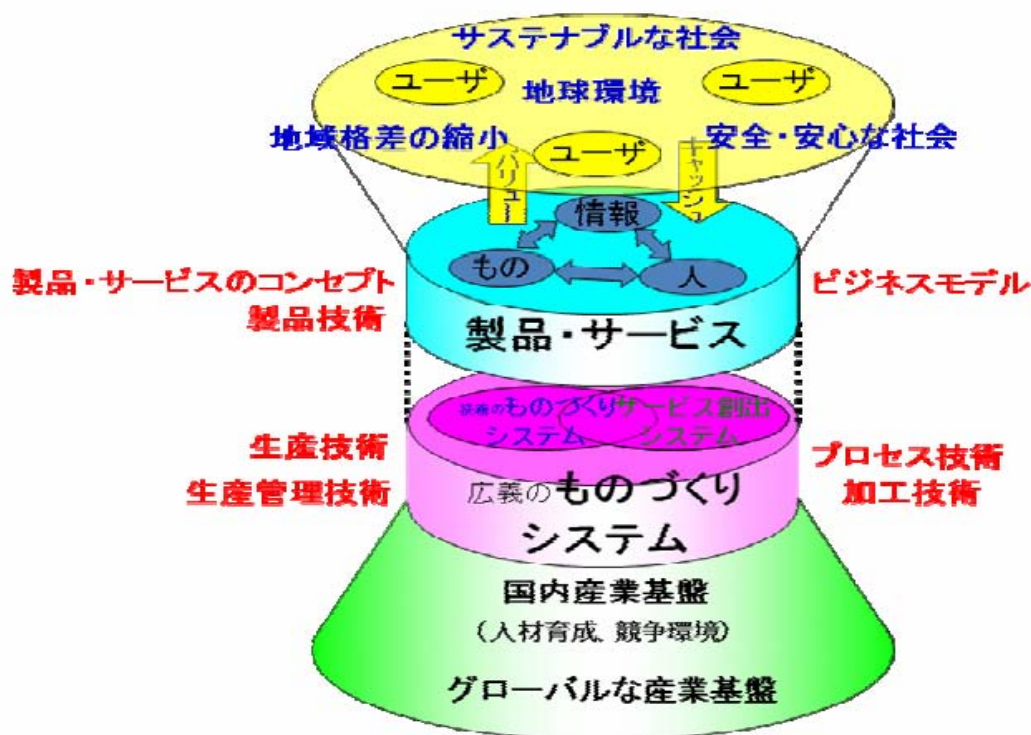


図 2.2-1 生産活動の意味

新製品・サービスによりもたらされる世の中の変化

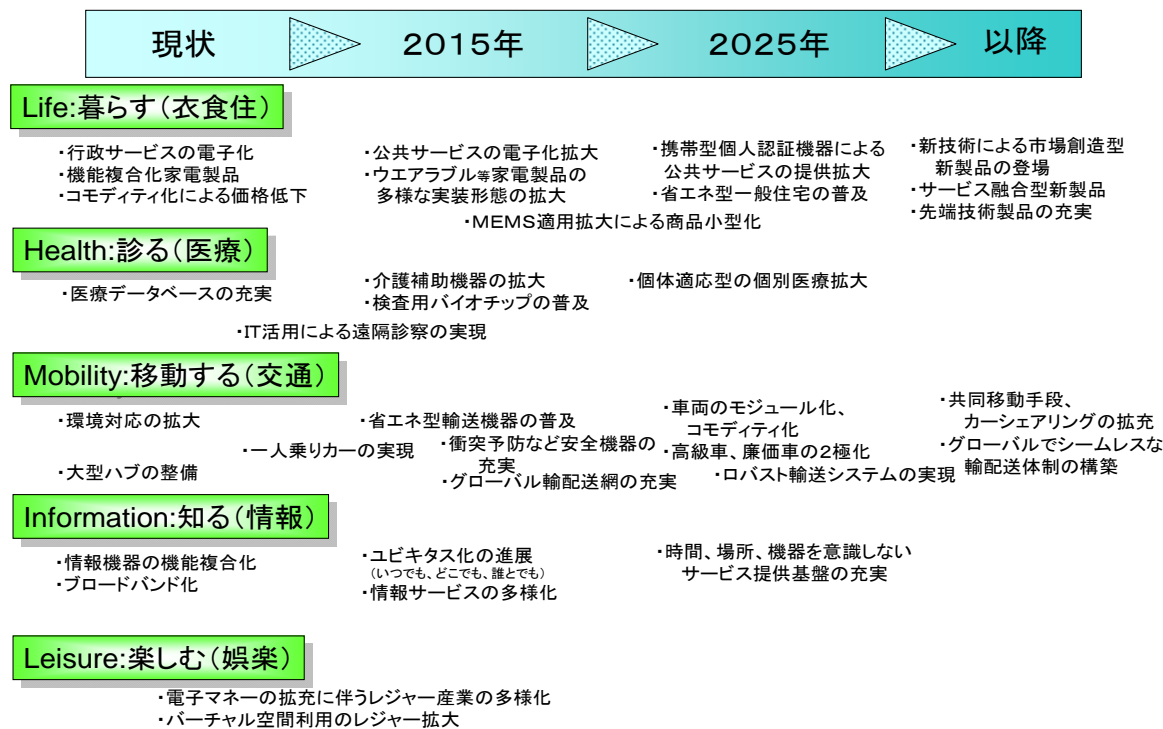


図 2.2-2 新製品・サービスによりもたらされる世の中の変化

ものづくり技術戦略ロードマップ（生産システム）

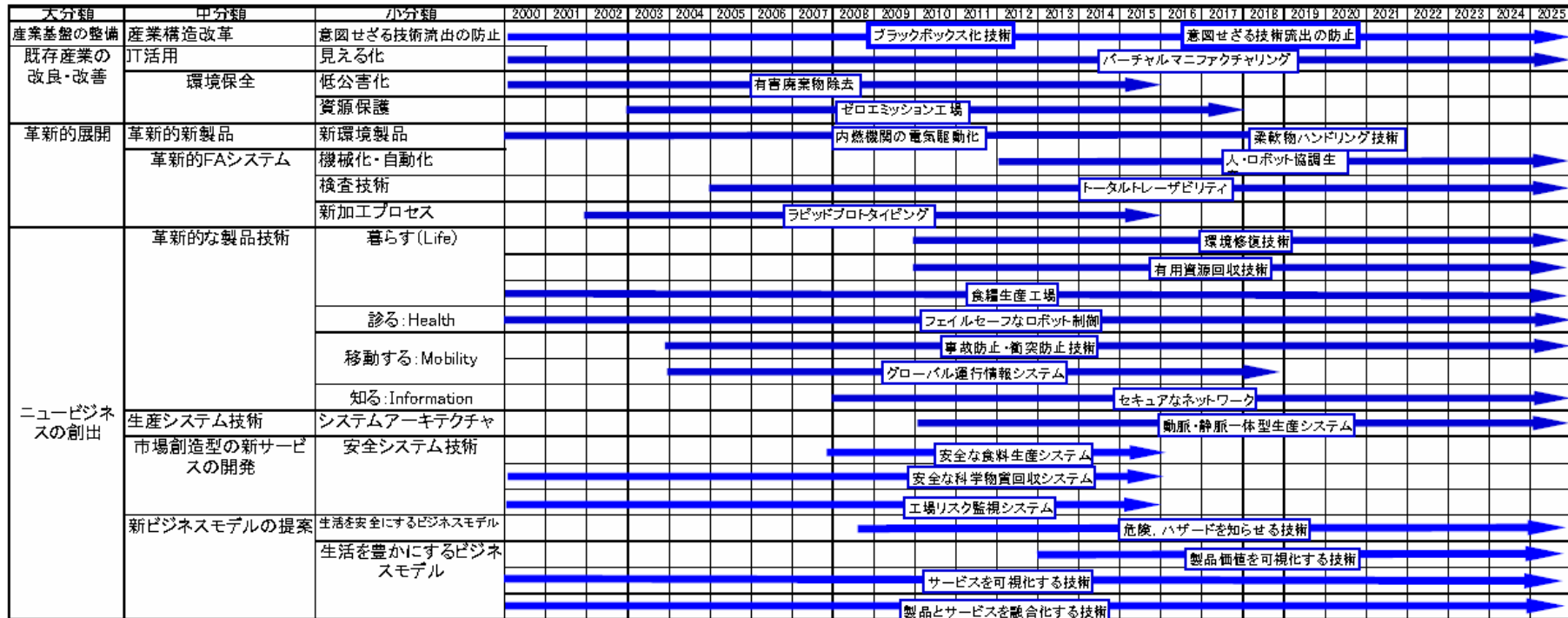


図 2.2-3 生産システム技術の重要技術ロードマップ（MSTC マップより転載）

2.3. 加工技術分野

2.3.1. 加工技術の考え方

加工技術は、産業振興を象徴する重要なキーテクノロジーである。また同時に、豊かで快適な暮らしや安全で安心な社会を維持するための基盤技術であり、世界的な競争力を維持し、新たな価値の創造を継続するためには、絶え間ない新技術の創出と戦略的な視点からの技術革新が必要不可欠である。素材から新しいものをつくりだす加工のプロセスは、非常に多様で柔軟性に富むため、加工技術は長年にわたってそうした要請に応じてきた。

このような要請への対応には、大きく分けて3つの方向がある。一つは、微細化、高精度化、高品位化などの技術課題への対応である。微細化に対応するのであれば、微細工具に始まり、使用する工作機械、計測法などにかかわる多くの技術課題を解決しなくてはならない。この場合、技術課題の連鎖、もっと的確な表現をすれば、技術課題カスケードへの対応が必要となる。2つ目は、ラピッドプロトタイピングにみられるような新しい加工技術の創出である。特に研究レベルでその萌芽性が見られる場合、学会講演会でそのためのセッションを用意するなど組織的に展開できるような仕掛けを提供することが重要である。精密工学会は大きな使命をもつはずである。3つ目は、後述の「ナノ精度 M4 プロセス」にみられるような製造技術の新たな分野の確立である。これら3つのレベルの違いは歴然であるが、ひとつ目の技術課題への対応が必ずしも普通の技術の集積によって行われるものではなく、こうした変哲もないようなところに、オンリーワン技術が生まれていることに注意が必要である。技術マップ、ロードマップの作成に際して、こうした技術が埋没しないような工夫が必要である。

一般に加工技術は、鋳造、溶接・接合、塑性加工、機械加工、特殊加工のような大分類と、さらに、例えば塑性加工をより細分化すれば、鍛造、圧延、引抜き、押し出し、深絞りなどの小分類に分けられる。一方、微細加工、高精度加工、高品位加工、高能率・高速加工、難加工材の加工、サステイナブルな加工（持続社会のための加工技術）といった共通の視点から加工技術を分類することも可能である。個別の加工技術を縦串とすれば、微細化、高精度化、高品位化などの技術課題からの視点は横串であり、縦串と横串からなるマトリクス上に加工技術を配置することも可能である。

各マトリクス上に分類された加工技術には、非常に僅かな最新の加工技術を除けば、いずれにも新しい側面と古い側面が混在する。そのため、マトリクス上の位置を表す縦串と横串を単に指定するだけでは、新しい技術を際立たせ、その方向性を示すことが難しい。そこでこのロードマップでは、ある程度の無理を承知したうえで、いくつかの新しい加工技術の枠組みを用意している。新しい枠組みを用意した加工技術には、多少違和感があるかもしれないが、従来の加工技術とは一線を画するような名前を付けている。しかし、鋳造、溶接、塑性加工などのように簡潔明快な命名は難しく、「NFF マシニングシステム」、

「ナノ精度 M^4 プロセス」などのように、比較的長い名前となった。ただし、今回の方法でも、ある程度大きな技術として分類することができなければ、それを取り上げることが難しい。また、このロードマップでは広く加工技術を対象としたが、レーザー加工については別途ロードマップが作成されるため対象から外している。また、MEMS については技術戦略ロードマップが既に報告されているので、それに関連する加工技術、すなわち、リソグラフィやドライ・ウェットエッチング技術等についても同様に省いている。

2.3.2. 加工技術分野技術マップの構成

革新的なものづくりに対応して、全く新しい概念の加工技術や加工技術の革新が必要とされる場合と継続的・連続的な技術革新が要求される場合があり、ロードマップでは、これらを総合し、イノベーションを創出するための加工技術を戦略的に俯瞰した。基本的には、新しい加工法・加工技術の創出と時代の要請に沿った新たな枠組みでの加工技術の革新と高度化の視点からロードマップが構成されている。また各加工法において、微細化や加工精度の指標となる加工単位と加工能率との関係をマップに示している。微細な穴あけのための各種加工技術との比較が行なわれている場合もある。原則として現状の位置づけと加工技術本来のポテンシャルとが示されており、これより将来的な技術の動向と可能性を示すこととした。ただし加工法によっては、これとは異なる独自のマップを用いている。

一般に精度と能率の関係は、概ね反比例の関係となることが知られている。本ロードマップでは両対数座標を用いてプロットしているので、両者の関係が右下がりの直線になることに注意されたい。したがって、この直線より右にある場合は精度が向上し、上にある場合は能率が向上する。

ロードマップでは、最初に新しい枠組みの加工技術、次いで従来の枠組みでの加工技術を取り上げている。したがって最初に聞きなれない加工技術が出てくるので、それらを簡単に説明する。

○ **NFF** マシニングシステム：加工機系，工具系，加工システム系における「揺らぎ」を 10 のマイナス 9 乗の相対精度に抑えることを目標とする除去加工である。除去加工における加工精度は著しく向上しているが、微細な加工では、部品寸法の微小化にともなって相対精度が低下するため、加工機系，工具系，加工システム系における揺らぎが顕在化する。そのため、本技術では「揺らぎ」という全く新しい視点から加工精度を見直し、これを実質的に無くすことにより、特に微細な加工領域においてこれまでにない精度と品位を得ようとするものである。

○ ナノ精度 M^4 プロセス：マイクロ・メゾ・サブミリ領域におけるナノ精度の機械的な製造技術であり，加工が中心的な課題となる典型的な加工技術駆動型製造技術である。

○ 材料・エネルギー最小化(MMEM)加工技術：環境に軸足をおいて加工の課題に取り組む全く新しい加工の枠組みを提案するものである。従来，加工に軸足をおいて環境等の課題に取り組んでいたが，それらの関係を完全に逆転することにより，より自由な発想で加工の効率化・グリーン化に貢献する。

○ 超機能性インターフェース創成加工：従来のコーティング等の表面処理技術を、ひとつのインターフェース要素の製造技術として位置づけ、新しい機能を有する界面要素のより積極的な創成技術の開発を促進するものである。

○ スーパーオリティ **RX:RP** (ラピッドプロトタイピング) , **RT** (ラピッドツーリング) , **RM** (ラピッドマニファクチャリング) として個別に提案されていた加工技術を、ひとつの枠組みで捉えなおし、将来的に拡大することが予想される **RM** への革新的な技術開発に対応するものである。

○ 局所環境制御加工：加工領域を局所的に制御することにより、加工の効率化を向上させるだけでなく、環境に配慮した加工を実現させる技術である。

以上の新たに命名した加工技術に関しては、すでにその技術要素についての研究が進められているものもあるが、ここでは個別の加工技術としてではなく、より大きな枠組みでの加工技術とすることにより、そのイノベーションと普及を促進することを狙いとする。

2.3.3. 加工技術分野の重要技術マップ

ものづくり戦略のうち、新しい加工技術の創出と変革は極めて大きなインパクトを有する。中長期的な視点から戦略的に重要な加工技術を抽出する必要がある。そこで、レーザー加工やフォトリソグラフィに代表される半導体加工を除く加工技術全般を俯瞰し、新しい枠組みの加工技術、従来の枠組みでの加工技術を 14 項目からなる大分類とし、それぞれの分野において、技術要素を取り上げてロードマップの作成を行った。さらに 14 項目のロードマップから最も重要な技術を 1 項目抽出し、下記に記す最重要技術としている。また、サステイナブルな社会のための加工技術として、技術ロードマップの重点化評価項目「省エネ、省資源、環境」に印のついたものを取り上げている。

重要技術の項目を挙げると、「**NFF マシニングシステム**」, 「**ナノ精度 M⁴ プロセス**」, 「**材料・エネルギー最小化(MMEM)加工技術**」, 「**超機能性インターフェース創成加工**」, 「**スーパーオリティ RX**」, 「**局所環境制御加工**」, 「**電気化学加工—ナノ放電加工**」, 「**鋳造スーパーニアネット凝固システムを利用した生産技術**」, 「**プラスチック成形—高付加価値射出成形**」, 「**溶接・接合—MEMS などのデバイス実装常温接合**」, 「**金属成形加工—難加工材のプレス成形法**」, 「**機械加工 I (多軸工作機械および加工システム)**」, 「**機械加工 II (切削加工, 切削工具)**」, 「**機械加工 III (研削加工, 研磨加工)**」である。

参考に、「加工」の技術マップ (図 2.3-1) と技術ロードマップ(図 2.3-2)を掲げる。

2.3.4. 加工技術分野への精密工学会の貢献

精密工学会は生産技術に係わる研究、開発を専門にする学会であり、加工技術は最重要な守備範囲である。学会には加工技術に関して長年の膨大な蓄積がある。加工に関する技術マップとロードマップは、そのような技術の延長上にあると考えてよく、精密工学会はその策定に大きな役割を果たすことができるし、また果たさなければならない。従来技術の外挿・延長から将来技術の方向を探るほか、研究者をして新しい加工法・加工技術の創出を積極的に推し進

め、今後の方向を探る必要がある。精密工学会はそれに向けて大きく貢献できるし、期待されている。

大分類	中分類	要素技術概要
NFFマシニングシステム (ナノ精度揺らぎレス加工システム)	超々精密要素技術(機械的・熱的揺らぎレス技術)	10の-6乗精度の超精密加工から10の-9乗精度の超々精密加工を目指すための各種機械要素技術(超高制振サーボモータ・DDモータ・リニアモータの開発等)、工作機械等の構成技術(超高減衰構造材料の開発等)、超高精度温度・振動制御・自動補償技術
ナノ精度M4プロセス技術 (マイクロ・メゾ要素のナノ精度機械製造プロセス技術)	マイクロ工具・マイクロデバイスの形状・機能計測技術	ナノ精度非接触高速3D形状(エッジ・アベックス・急峻面)測定システム、機上計測用ナノ精度センサの開発、ナノ精度接触検知、センサー一体型保持機構、サブサーフェースダメージ層測定・評価技術
材料・エネルギー最小化(MMEM)加工技術	廃棄材料最小化加工技術	除去材料・使用エネルギー・切削油や離型材などの環境負荷物質の削減・最小化を実現するための各種加工プロセスの組み合わせ・複合化技術
超機能性インターフェース	高機能環境適応型軽元素ベースコーティング	レアメタルなどの希少資源を使用しない軽元素(炭素、窒素、硼素等)ベースの高機能性コーティング。具体的には各種のダイヤモンド・ダイヤモンドライクカーボン(DLC)・ナイトライド(窒化ホウ素、カーボンナイトライドなど)等による高機能トライボコーティングやドライ加工のためのハードコーティングの開発
スパークオリティRX	RP(ラピッドプロトタイプング)、RT(ラピッドツーリング)、RM(ラピッドマニファクチャリング)のシームレスな統合化技術	高品位・テララーメイドエンドユース・ロングタムプロダクト、高精度・高性能・超短納期RM加工技術、RM多用途材料の開発、RMビジネスモデル
局所環境制御加工	局所環境発生・制御技術	極低温(液体窒素温度)から気化温度までの局所温度制御、真空から数気圧までの圧力制御、バークシャルシールド技術による局所雰囲気制御による超柔軟材料、超高温材料、高反応性材料の高精度高性能マイクロ加工の実現
電気化学加工	ナノ放電加工	ナノオーダーの放電痕が得られる微小エネルギーの放電パルスの開発、工具電極消耗がほとんどない(消費率が0.01%以下)超精密加工の実現。さらに、導電性ダイヤモンド、CVD DLCなど、高融点・高沸点、高熱伝導率の電極材料の開発により、φ5μm径のワイヤ電極による微細ワイヤ加工が実現する。
鋳造	スーパーニアネット凝固システムを利用した生産技術	微小部材への適用やニアネットシェイブ・機械加工フリー技術
プラスチック成形	高付加価値射出成形	高速充填と高精度射出量・圧力制御やホットランナに代わるランナレス成形システム(型・成形機一体化)による微小成形、微小転写成形
溶接・接合	MEMSなどのデバイス実装常温接合	多数枚のウエハを積層し、MEMSデバイス・集積回路をよりコンパクト化する。シリコンウエハにシリコン以外の薄膜材をクラッドし、デバイスをより多機能化、高機能化する。
金属成形加工	難加工材のプレス成形法	ハイツ材やマグネシウムなどの難加工材に対応した金型技術、プロセス技術、シミュレーション技術の開発
機械加工I(多軸工作機械および加工システム)	機上計測による自律補正技術	機上計測精度を飛躍的に向上及び、機上計測結果のフィードバックにより、自動的にNCデータの変更・再加工を行う。
機械加工II(切削加工、切削工具)、人間・計測系	新工具母材とそのコーティング技術	レアメタルから他の材料への転換による資源の有効利用、高速・高能率切削における耐クリープ性の向上、超格子化、ナノコンポジット化等による超高硬度材切削用工具の開発、炭素系の超高性能コーティングの開発、チタン合金などの切削性能を飛躍的に向上させるコーテッド工具の開発
機械加工III(研削加工、研磨加工)	超砥粒砥石製造、利用技術	大口径極薄砥石の開発、粒度のそろった砥粒を均一に分散させた極微粒砥石を開発、集中度200を超えるダイヤモンド砥石の開発、砥石の先端形状をナノ精度で成形する技術の開発、有効砥粒切れ刃数が増えるように目立てする技術の開発、砥石表面のみの砥粒切れ刃密度、切れ刃高さを高度に調整する技術

図 2.3-1 加工技術のものづくり戦略技術マップ (MSTC マップより転載)

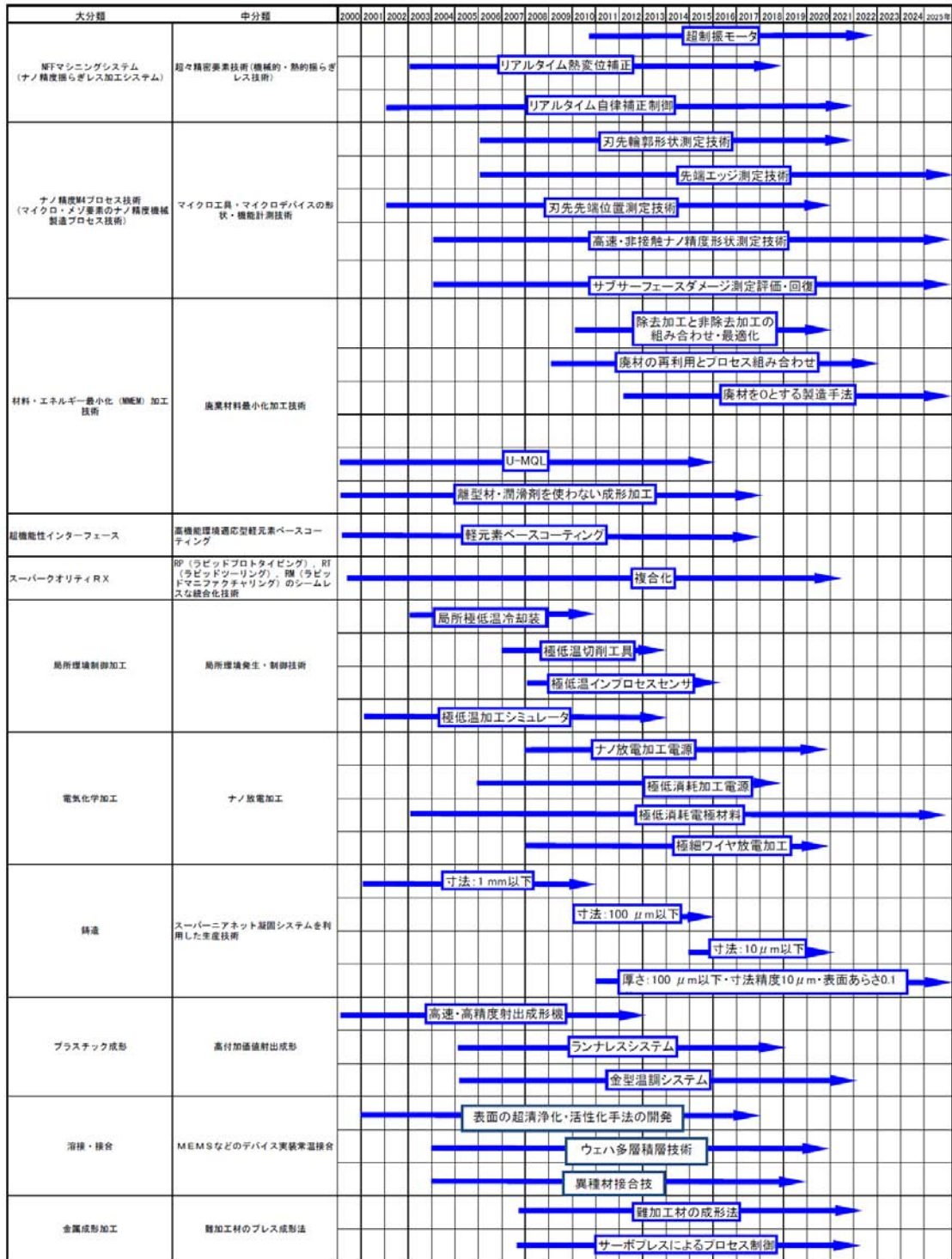


図 2.3-2(a) 加工技術のものづくり戦略技術ロードマップ (MSTC マップより転載)

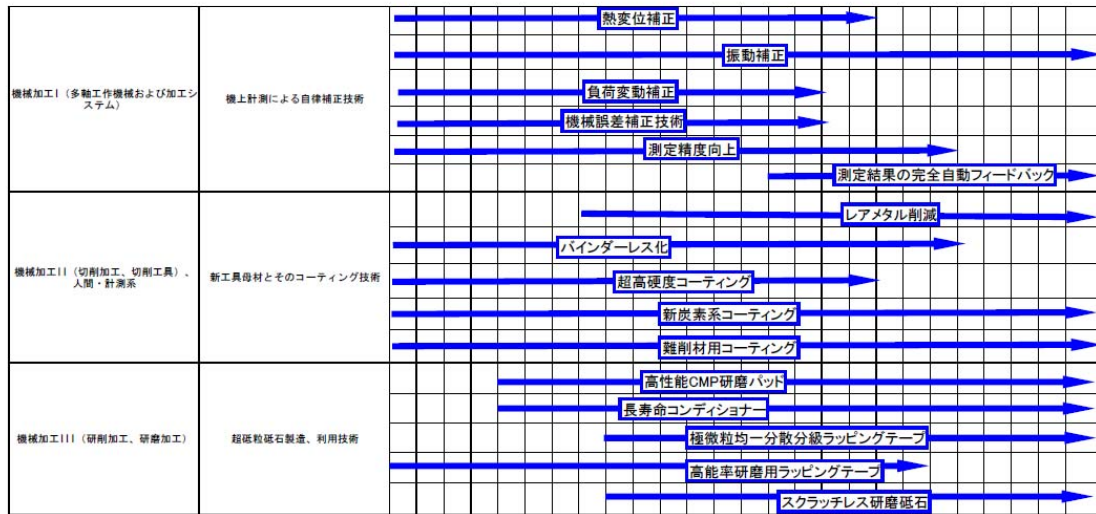


図 2.3-2 (b) 加工技術のものづくり戦略技術ロードマップ (MSTC マップより転載)

2.4. 測定技術分野

測定は、精密工学会の技術として重要な役割を持っている。まず、MSTC マップおよび横幹連合マップの中で測定に関係するテーマを抜き出し、説明を行う。さらに、これらに関して精密工学会として取り組むべき課題の方向性を示す。

2.4.1. 測定技術分野における技術戦略の概要

MSTC マップにおいては測定技術分野を直接の検討対象としていないが、いくつかの技術項目に測定技術がみられる。

設計システム分野では、現物融合技術が測定関係として一番重要となる。現物融合型エンジニアリングは、最新の計測技術をベースにして現物の情報をデジタルエンジニアリングに結び付けているため、計測技術がキーとなる。ここで三次元計測関係のテーマとして以下のものが挙げられている。

○スキャンデータ処理技術：産業用 X 線 CT スキャナーや、非接触三次元形状スキャナーにより三次元形状を高速で非接触に計測する。

○スキャン点群処理技術：サーフェススキャン技術高精度化、高速化、高密度化、計測対象の多様化を行う。

○スキャンパラメータ最適化：計測精度、点群密度の最適化を行う。

○CT データ処理技術：CT スキャン技術の高精度化、高速化、高密度化、計測対象の多様化、大規模処理を行う。

加工技術 WG が取り上げている分野では、ナノ精度 M4 プロセス（マイクロ・メゾ要素のナノ精度機械製造プロセス技術）が測定関係として一番重要となる。ナノ精度 M4 プロセスでは、工具系・計測系が中心課題である。さらに、機械加工 I, II, III においては、機上計測による自律補正技術およびナノ精度補償技術が重要となる。以下のテーマが測定に関連する。

○ナノ精度非接触高速三次元形状（エッジ・アペックス・急峻面）測定システム：機上計測用ナノ精度センサの開発、ナノ精度接触検知、センサー一体型保持機構、サブサーフェスダメージ層測定・評価技術を確立する。

○機上計測による自律補正技術：機上計測精度を飛躍的に向上および、機上計測結果のフィードバックにより、自動的に NC データの変更・再加工を行う。

○ナノ精度補償技術：工具やワークの状態をセンシングし最適な補正を加えるとともに、ナノ・サブナノオーダーの位置決め精度を確保する。

○加工精度補償技術：ナノ精度の計測をオンマシンで行う。

一方、横幹連合マップでは、シミュレーションや予測に基づく関係のテーマにおいて、人間の生体情報の計測および環境、自動車、外界の状況計測の必要性が示されている。

○見える化技術：センサ（計測技術）、生体計測技術により人間の感情・行動の計測、社会システムの理解する。

○計測技術の統合化：計測データを整理統合する。

ものづくり分野に対しては、以下の人間の感性に限定された計測技術だけが示されている。

○わくわく感などの感性計測技術：製品に対する顧客のわくわく感などの感性を計測する技術を開発する。

○感性計測技術：潜在・無意識ニーズ顕在化システム技術を確立する。

2.4.2. 測定技術分野での重要技術

上記の測定関係のテーマを考えると、測定対象が非常に広がっていることが分かる。精密計測の中心である形状計測においても、三次元的、高速、非接触、高精度などの多くの要求事項があり、測定対象の寸法、精度もメートルからナノメートルの広い領域にわたっている。このためには、新しい技術として以下の課題が重要である（図 2.4.1 参照）。

◎三次元非接触測定技術：三次元スキャン、CT データ処理などを利用した新しい三次元測定技術を開発し、データ処理手法、精度評価手法を確立する。

◎トレーサビリティの確保：ロードマップにはあまり取り上げられていないが、ものづくりを対象とした計測において、計測標準を利用したトレーサビリティの確保と計測の不確かさ評価技術が重要となる。

◎加工と統合した計測技術：加工に対するフィードバックを行うための、機上計測、自律補正などの手法を確立する。

◎人間の生体情報の計測：人間と機械を統合したシステムに対応するために、人間の生体情報をセンシングし、その処理を行う技術を開発する。

次世代ものづくりを考えると、上記の課題を実現するためには、「知的計測技術」、「計測標準」、「ものづく計測」の 3 つの領域における研究が必要である。まず、「知的計測技術」では、計測対象を広域化（ナノスケールからミリスケール）、三次元化するために、計測データム（計測標準）の自律創成や自己校正などの知的データ処理を確立する。つぎに、「計測標準」では、結晶などを基準とする計測標準の開発、ならびに計測標準を校正するための計測システムの開発を重要である。この 2 つの研究領域を相互連携することにより体系化し、知的計測技術を学問領域として確立する必要がある。さらに、「ものづくり計測」では、知的計測技術を、機上計測、自律補正、加工プロセスの可視化へ適用する必要がある。

2.4.3. 測定技術分野への精密工学会の貢献

以上述べたように、次世代ものづくりにおける測定技術を考えると、「知的計測技術」、「計測標準」、「ものづく計測」の 3 つの領域において先端的な研究を行う高度専門技術者の育成が急務である。これらの研究は、産官学の連携が不可欠であるため、学会内に築いた研究者、技術者の専門委員会等の共同研究組織を基盤として、産学官連携研究による大型外部資金導入を活性化させることが必要である。

さらに、測定技術は生産システム、設計システム、加工技術を基盤として支える技術である。このため、精密工学会内において、他の分野との融合的な研究グループを設置し、研究者、技術者相互の情報交換および融合研究の場を提供することが必要である。

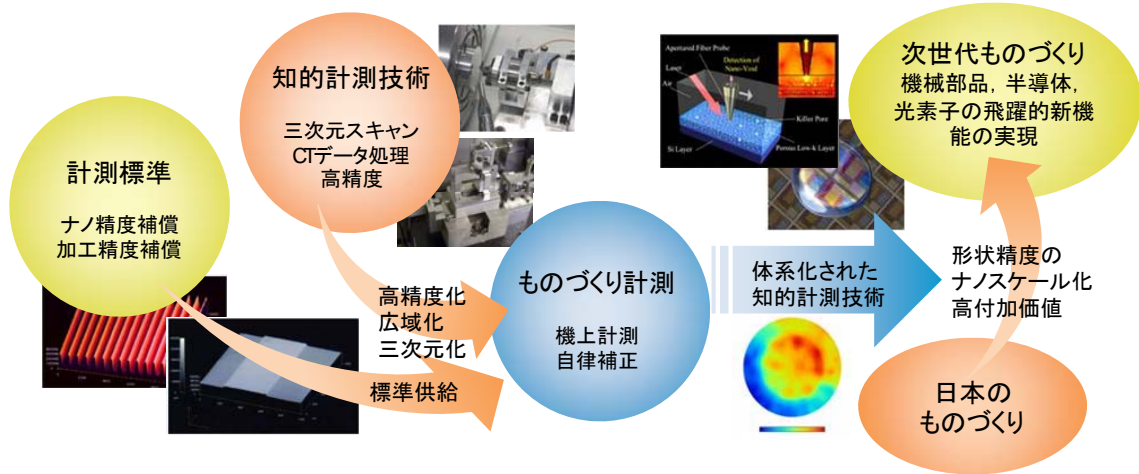


図 2.4-1 測定技術分野での重要技術

3. 学会の役割

学会成立の歴史を振り返れば、その役割は **Peer Review** にあった。研究分野を同じくする研究者が集まり、自分達の研究成果を相互に批判し合い、評価し合う場であった。今でも主たる機能は変わらないとも言え、発表と討議の場である学術講演会、論文誌を質、量共に確保することが最重要である。しかし、情報伝達手段の多様化が進み、グローバル化した 21 世紀の今日、精密工学会の役割はより拡大していると考えられるべきであろう。

精密工学会では 75 周年記念事業（75 周年事業）として、今後の学会の役割を見据えて、いくつかの事業に着手している。ここでは、それらを紹介しながら、(1)学術コミュニケーションの強化、(2)若手会員の獲得、(3)学会の国際化、(4)技術教育支援、の 4 つを論じる。

3.1. 学術コミュニケーションの強化

研究成果を発表する論文誌の発行は、研究者へのサービスとして最も重要かつ基本的なものである。一方、インターネットが主要なメディアとなる中、プリントサーバやオープンジャーナル、電子ジャーナルなど、研究成果を発表・配布する新しい手段が広まっている。下河邊前会長の執行方針である「WEB 時代の学会運営」の下、電子ジャーナルが推進され、また 75 周年事業では電子校閲システムの導入が行われている。これらの基本的サービスの提供を確保していく。

インパクトファクターや被引用数なるスコアの導入も今日的な要求となっている。学術研究者の評価、あるいは研究費の獲得において、業績評価がこのようなスコアの下に行われることは時の流れであり、それを分野の特殊性を盾に拒むことには限界がある。スコアに対応しない論文誌への投稿数は激減する恐れがあり、そのためには、

- 英語論文誌とすること、
 - 論文誌を引用分析の対象雑誌とすること、
- が不可欠である。

また、学会のもつ知的財産を徹底的に電子化して、提供することも重要である。75 周年事業では、その第一歩として、公的機関等では電子化の予定の無い過去の資料を電子化するが、今後も継続的に電子化を進めるとともに、急速な技術革新の流れの中でその知的財産を活用する方策を立てる必要がある。

3.2. 若手会員の開拓

若手研究者、更には将来の研究者に精密工学会を認知してもらい、参画してもらうことは、将来的には非常に重要な取組である。75 周年事業では、多くの支部において、若手研究者の活動支援や工学の楽しさを体験するような活動が企画されており、今後も一般に向けてより親しみやすいプログラムを継続的に提供していくことが必要と思われる。産業界、地域の団体、初等教育機関と連携した教室や見学会の開催に加え、WEB 上での発信が有効と考えられる。

3.3. 学会の国際化

世界における製造業のあり方は **MSTC** マップ報告書の冒頭に「…資源の大半を海外からの輸入に依存している我が国にとって、永続的に製造業を発展させていくためには、エネルギーや地球環境と人間社会の持続性を確保しつつ成長を動じに確保するサステナビリティの確保が求められており、サステナビリティという新たな観点を考慮した循環型の生産等の製造技術についての検討が必要である。」と述べられているように、サステナブル・マニュファクチャリングが重要な概念として提唱されている。さらに、近い将来として **2025** 年頃の経済状況に関して同報告書では、日本経済はアジア循環経済圏へ完全に組み込まれグローバル化が進展し、経済規模では中国、インドに抜かれ、人・資源・資本等に関する国境の壁は徐々に下がっていくが、日本はサステナブル・マニュファクチャリング技術および環境関連コア技術に関しては依然として優位である、と予測している。これらの議論を踏まえた上で製造業の持続的な発展のための課題として、

- 設計製造加工における中核人材の海外との相互交流の推進および体系化された知識の伝達
- 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対アジアへの普及促進

を挙げている。すなわち、人のつながりと教育、それもアジア地域における「精密工学ネットワーク」を「学術情報の提供と教育支援」を通じて構築する必要性を示唆している。

精密工学会の技術分野について、日本が世界でも最先端の技術と最大の産業規模をもっているのにも拘わらず、学会の国際的求心力は弱い。その理由としては § 3.1 において指摘したコミュニケーション国際化の欠如が大きい。日本の学会全体が明治以来、欧米志向であったことは否めない。

精密工学会が関わるアジアにおける研究者のネットワークづくりのしくみとして国際会議 **Asian Society for Precision Engineering and Nano-technology (ASPEN)** があり、第 1 回目の国際会議を **2005** 年に中国の深圳で開催し、第 2 回目を **2007** 年に韓国の光州広域市で開催している。第 3 回は **2009** 年 11 月に日本の北九州市で開催予定であり、**2011** 年に第 4 回を香港で開催する予定である。

ASPEN2009 では関西支部がアジア地域精密工学シンポジウムを実施するように、若手研究者のネットワーク作りを重要なテーマとして掲げており、将来を担う若い世代が協力してアジア地域の発展に貢献できる研究者ネットワークを構築することを目指している。このような **face to face** でのネットワーク構築を日本にもっと増やすことが重要である。開催運営の観点から言えば、できるだけ手間と時間を掛けないで会議開催を行う仕組みを学会周辺で保持すべきである。

この ASPEN は同時に国際学会連合の構築を意図する。日米欧の 3 学会は、

- 精密工学会 JSPE (Japan Society for Precision Engineering)
- 米国精密工学会 ASPE (American Society for Precision Engineering)
- 欧州超精密工学会 euspen (European Society for Precision Engineering and Nano-technology)

は 1999 年から Journal of Precision Engineering の発行や国際会議の相互交流を進めてきた。また、国際生産工学アカデミー CIRP(The International Academy for Production Engineering)がこれら 3 学会とも協調してきた。しかし、アジア地域ではそれらの活動も低調であった。

国際会議 ASPEN の中で、中国、韓国、台湾、日本、シンガポールなどのアジア諸国の精密工学関連学会が集まり、アジア地域の精密工学関連学会連合 ASPEN (Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology)を設立することを合意した。初代会長には精密工学会会長が就任し、2 年毎開催の国際会議 ASPEN の主催国が会長職を担当する。この国際学会連合は今後の日本の生産学術推進のためには重要であり、日本の生産学術関連学会にも呼び掛けていく必要がある。

3.4. 技術教育支援

最近、若手技術者への入門的な講習会に対する要求が高い。東海支部のものづくり実践講座シリーズでは、精密なものづくりに関わる第一線の講師陣に基礎的／実用的な内容の分かり易い講義と、それに即した実習／実演を組み合わせ、好評を博している。また他支部でも同様の事業が行われている。このことは、学会が技術情報を生涯教育として提供する重要性を示している。大学・高専においても実践的な教育が望まれるが、生産技術系の教員数の減少を考慮すれば、教育用ツールを産学官の連携を通して提供することに努めなければならない。一方で、最先端の技術紹介的なセミナーも受講者が多い。

今後の精密工学会の果たすべき役割として、研究・開発を先導していくことと並んで、精密工学に関する教育支援もまた重要である。質の高い教育を実践するために、教育研究の基礎データを収集し、様々な場面での人材養成に活用できるようにしておくことの意義は極めて大きい。特に、精密工学は「暗黙知」を大量に含む。設計生産に関する体系化はまだ歴史が浅く、技能として伝承されている部分も大きい。それゆえ、「温故知新」という言葉が示唆するように、先人達の研究を新たな視点から捉え直すことによって、新たな展開が生まれる可能性もある。

そこで、精密工学会では、75 周年を契機に「生産知識の殿堂」を構築する。図書館が「学問の殿堂」として、知の収集・整理・保存を担当してきたことに倣い、「生産知識の図書館機能」の一助となることを目指す。この背景には、高等教育における生産技術関連教育の低下がある。人口減少、そしてその中で工学系学生の減少、生産技術関係講座の減少と重なり、加えて、教員の製造現場離れが進むと予想される。分野が広く、Know-how の塊といわれる生産関係

の教育には、具体的な画像やシミュレーションなどの教材が不可欠となる。そこで

- 実際の生産現場での生産活動
- 工作機械などの動きや原理の説明
- シミュレーションを駆使した生産機器の説明
- 加工プロセスの可視化
- 生産管理（スケジューリングなど）

の VTR、CD、DVD などの技術情報コンテンツを精密工学会として収集し、大学等教育関係者に貸し出すことで、生産技術教育の活性化と高度化を実現に貢献する。

精密工学会の知的財産電子化の一環として、古い大会講演論文集についてデジタルアーカイブ化を進めている。最近発行されている学会誌や大会論文集の記事・論文については電子化が行われており、また、過去の学会誌については、創刊号から **J-STAGE**(科学技術情報発信流通総合システム)によって電子化が行われている。加えて、生産自動化専門委員会など歴史ある専門委員会では、過去の活動の歴史、報告集のデジタルアーカイブ化を独自予算で進めている。これらは「温故知新」の原資であり、かつ、生産知識の貴重な財産となると予測される。

一方、継続専門教育(CPD: Continuing Professional Development; 技術者の専門性を確保するために、高等教育終了後も継続的に最新の技術や知識を習得し、自己の能力を維持・向上させること)も教育支援であり、日本の生産技術レベルを保持するため、並びに技術者の分野転換のために、重要である。精密工学会は他学会と協力して、日本工学会が進める CPD への参加を準備している。

教育の国際化と標準化に関しては、先例として日本技術者教育認定制度(JABEE: Japan Accreditation Board for Engineering Education)の活動がある。JABEE は大学の工学教育のカリキュラムに関する認定制度であるが、エンジニアの再教育とアジア地域におけるサステナブル・マニュファクチャリング技術の普及を推進するためには JABEE で構築されてきた標準化・評価手法には学ぶべき事が多いはずである。

いずれの場合でも、学会としてはできるだけ運営上の負担とコストを軽減し、教育サービス提供業としての効率的な運営が求められる。例えば、講義をビデオ収録したものを **e-learning** の教材として提供したり、知の収集・整理・保存を学術講演会にリンクするなどであり、WEB 時代の教育用コンテンツの収集・編集・配信を実施するシステムとして構築していく必要がある。教育支援では他学協会と連携も重要であり、その場合、精密工学会本体とは別組織での協調の方が容易な場合も多い。精密工学会が母体となって設立した NPO 精密工学ネットワーク (PEN: Precision Engineering Network) が果たす役割への期待は大きい。

3.5. 学会の発展ロードマップ

ものづくりの流れを伝統的な表現で分類すれば、図 3.5-1 のように区切られた過程となる。従来、ものづくり技術は設計・生産だけを指してきたが、精密工学会の今後の 25 年は製品のライフサイクル全体を、加えて、動脈系・静脈系の両者を対象とすることは既に述べた。しかしながら、本技術ロードマップでは既存の体系に基づく技術的項目となる、設計システム分野、生産システム分野、加工技術分野、測定技術分野を選択し、その技術ロードマップを示した。持続性社会の構築を追求するには、いままで精密工学会が弱かった部分に関する技術ロードマップを構築することが求められることは自明であるが、本技術ロードマップではそこまでの踏込はできなかった。代わりに、精密工学会の機能とあるべき姿を明らかにし、その実現のための 75 周年事業を紹介した。学会の発展を願うロードマップ構築にはより多くの視点での検討が必要と思われる。

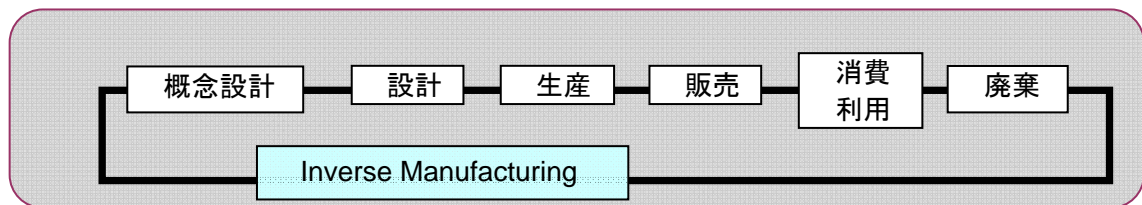


図 3.5-1 ものづくりのシステム構成

3.5.1. 精密工学会の将来像

横幹連合マップに示された 2040 年の精密工学会を見てみよう。

2040 年 9 月、精密工学会秋季大会が開催される。1933 年にスタートしたこの学会は 100 周年記念行事として「除去加工の歴史」を展示した。今年の学会の発表構成を見ると、機能部品設計生産技術が約 50%、医療、生命、生活への応用が 20%、社会的な価値生産システム 10% が大きな分野である。

形状創成技術を見るに、切削加工をはじめとする除去加工はその重要性が低下し、代わりに、樹脂金属のレーザー硬化技術と印刷技術が中心である。波長特異性がある材質や多段階硬化性の金属樹脂材料の発達により、CAD データから部品を作り出すまでの時間が今までの 100 分の 1 になった。このことは完全な注文生産も可能としている。表面の機能創成には材料のナノ構造から手がつけられるようになり、部品一つ一つの機能が格段に高まった。このことで、機械部品も電子部品と同じような機能部品として使用可能となった。よって、小型機能部品は今でも大量生産・中量生産が続いており、日本は高機能部品に関する世界の供給基地になっている。

持続性社会の構築には「不必要な製品（不必要な情報も含まれる）を世の中に出さない」という大原則が 10 年前に国際的に制定された。よって、ほとんどの製品は CAD と CAE の組合せで、機能、使い勝手、他の人工物との関係、顧客満足度がシミュレーションで調べられる Virtual Manufacturing が一般化した。

このような精密工学会の姿はあり得ないと反発する会員が多数存在するであろう。今後 25 年間に研究開発する対象がどのように変遷し、それらの技術がいかに社会で位置づけられるかは会員一人一人で異なる見解をあらう。その異なる見解を相互に提示し、共通の理解をしていくことが、今後の精密工学会発展のための基礎となると信ずる。その際には、(A)現状技術から将来への延長と、(B)25 年後のシナリオから現在への要求、という 2 つの視点で明示的に表現することを期待したい。

3.5.2. 精密工学会の役割

本技術ロードマップの実現に貢献するため、精密工学会は 75 周年事業で開始する事業を継続し、かつ、追加していくべきである。たとえば、技術者教育のための「生産知識の殿堂」の役割をきわめて継続的に長期にわたって果たしていくことは精密工学の発展にとって重要である。しかし、限られた資金、少ない人数で多様な事業を効率よく進めるためには、選択と集中を避けることはできない。75 周年事業後も長期に涉って精密工学会の長期事業を継続するためには、技術ロードマップという形で目標設定をすることと、その実施体制を構築していくことが求められる。「生産知識の殿堂」プロジェクトで考えるなら、教材となる技術情報コンテンツを充実させることとともに、①定常的にコンテンツを集める仕組み、②継続的に事業を担う組織、そして③効率的な運営、を自主的に準備せざるを得ないであろう。加えて、これらの活動を対社会、対産業界、そして対政府へと積極的に宣伝し、提言し、実際に活動する努力が求められる。

一方で、これらの事業を日本国内に限定することなく、全世界へと拡大する努力が必要である。特に、アジア地域におけるネットワークを充実させ、2033 年にはアジア地域が持続性社会構築のモデルケースとなるくらいの意気込みが求められる。

学会の役割は次の 3 項目にまとめることができる。

- (1) 学会の使命：持続性社会を構築しつつ、価値創造を行う学問体系として、精密工学を発展させる。そのために、
 - 技術ロードマップを策定して、学会構成員の共通認識を高める。
 - 学会構成員の独自性を尊重し、学問の自由を守る。
 - 国際化に対応し、精密工学会を国際的求心力ある学会へと転換する。

- (2) 俯瞰的視野の構築：精密工学会は、製造物の生涯全体にわたる学問体系を発展させ、世界に広める。そのために、
 - 俯瞰的な視点での研究教育の進展を支援する。
 - 横串型組織（生産学術連合会議、エコデザイン連合、横断型基幹科学技術研究団体連合、日本学術会議など）との連携を強化する。
 - 科学技術研究発展のために、政策提言を含めて積極的に行動する

- (3) 研究開発の推進：精密工学の高度化と拡散に対応するため、先端技術開発と基盤技術高度化の両面から研究開発を支援する。
- 先端技術については、産官学の連携において世界を先導する研究に取り組む。
 - 基盤技術については、産官学の連携を強化し高等教育と技術者生涯教育を継続的に支援する。

4. おわりに

日本の製造業は世界の最先端技術を保持している。しかし、日本の製造業の将来が必ずしも楽観できないことは企業人、大学人共通の認識である。このような中で学会の役割に対する社会的要請が高まっている。ものづくり技術を標榜する精密工学会は、自分たちの役割を認識するとともに、学会の姿を対社会に明確に情報発信する義務がある。

ここに示した精密工学会技術ロードマップは技術の進展のみならず、学会として将来に対してどのように関わっていくかを明確化することを意図した。

精密工学会としては、ここに示した技術ロードマップを基に、今後 25 年間の学会発展の姿を描きたい。問題点を抽出し、対応策を考え、それらを支部、専門委員会、そして理事会において討議していきたい。そのために、2008 年 9 月の精密工学会学術講演会秋季大会（東北大学にて開催）にてシンポジウムを開催し、その後、12 月にかけて会員各位の意見をフィードバックし、2009 年 3 月の精密工学会 75 周年記念学術講演会において発表する予定である。会員各位からの積極的なご意見を歓迎する。

学会は社会的存在である。特に、精密工学会は、技術的優位性を有する学会として、そして、社会技術としてのものづくり技術を担当する学会として、責任ある役割を果たしていくべきと考える。2033 年、精密工学会が 100 周年を迎えるとき、精密工学という旗の下に行動した先達たちが、生産技術の分野で技術と知の持続性を作り上げ、結果的に持続性社会の構築に貢献したと高く評価されることを願って、精密工学会を発展させたい。

謝辞

この技術ロードマップの基となった報告書を作成した(財)製造科学技術センター並びに横断型基幹科学技術研究団体連合の関係者に深く感謝する。

執筆者一覧

本報告書は、精密工学会75周年事業実行委員会内に設置した「技術ロードマップ作成委員会」（委員長 新井民夫東京大学教授，幹事 鈴木宏正東京大学教授）が担当した。執筆者は精密工学会理事会を中心に構成した。

青山 藤詞郎	慶応大学教授
新井 民夫	東京大学教授
厨川 常元	東北大学教授
佐々木 健	東京大学教授
鈴木 宏正	東京大学教授
高増 潔	東京大学教授
竹内 芳美	大阪大学教授
古川 勇二	東京農工大学教授
水野 毅	埼玉大学教授

(五十音順)

精密工学会技術ロードマップ

発行日 平成 20 年 9 月 17 日

編集発行 社団法人 精密工学会
〒102-0073
東京都千代田区九段北一丁目 5 番 9 号
九段誠和ビル内
電話 03-5226-5191
ホームページ <http://www.jspe.or.jp>

印刷・製本 東北大学生生活協同組合
印刷出版事業部 プリントコープ
〒980-8579
仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6
工学部中央厚生会館
電話 022-222-1664

(無断複写・転載を禁ずる)