

調査・研究報告書の要約

書名	平成22年度工作機械の新構造材料に関する調査研究報告書				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会・社団法人 日本工作機械工業会				
発行年月	平成23年3月	頁数	101頁	判型	A4

[目次]

序 (会長 伊藤 源嗣)

はしがき (会長 中村 健一)

委員会名簿

目次

1. はじめに

2. 調査研究の概要

2. 1 事業名

2. 2 調査研究の目的

2. 3 調査研究期間

2. 4 調査研究組織

2. 5 委員会開催状況

3. 工作機械の構造材料に関する研究開発状況について

3. 1 工作機械構造材料に関する研究文献の分析

3. 2 材料メーカーヒアリング調査結果

4. 複合材料シミュレーション結果

4. 1 緒言

4. 2 新素材を適用して次世代工作機械を開発する手法

4. 3 ハイブリット特性を持つ新素材の創出用ソフトウェア「魁」

4. 4 魁を用いた複合材料シミュレーション結果

4. 5 結言

5. 新材料を応用した工作機械の将来イメージの分析

6. おわりに

[要 約]

製造業における高付加価値化、生産効率の向上等の要求が高まる中、これまで以上に工作機械の基本的な機能・性能の向上を図るため、新機能の開発や要素開発のみならず、新たな構造材料の適用を検討する必要性が生じてきている。工作機械の構造材料としては、比較的バランスの良い機能性を有し、入手・加工が容易で比較的低コストな鋳物や鋼板が主に利用されてきたが、工作機械の基本性能をさらに向上させるにはこれら従来材料では限界がある。

このような状況から、本調査研究では、従来材料に代わる新たな構造材料の工作機械への適用可能性を探るべく、工作機械部位毎の機能要求の調査、文献調査、材料メーカーヒアリング調査、複合材料シミュレーション等を通じて、将来あるべき工作機械のイメージとその具現化の方向について考察した。

工作機械部位毎の機能要求の調査においては、調査研究メンバーへのアンケート調査により、各機種毎（旋盤・ターニングセンタ、横型マシニングセンタ、門型マシニングセンタ、研削盤、超精密加工機）で各部位にどのような特性が求められるのか、重要度を数値化することにより分析を行った。例えば、クロスレールやラムの曲げ剛性向上が求められているのに対し、主軸頭やサドル、テーブルには軽量化が求められている。また、コラムやラムの熱変形抑制が求められていること等が分かった。

文献調査においては、過去の工作機械構造材料に関する研究文献 60 件を分析し、年代別に見るとコンクリート系材料の研究から繊維材料系へシフトする傾向が分かったが、工作機械への新素材の適用研究は近年必ずしも活性化していないようである。

材料メーカーに対するヒアリングにおいては、アルミ・セラミックス複合材、PAN 系・ピッチ系炭素繊維、M2052 制振合金、ミネラキャスト、ねずみ鋳鉄・球状黒鉛鋳鉄等、各種材料の製造を行っている計 6 社より、最近の材料開発状況を調査し、コンクリート系、繊維強化系を含め、異種材料を含めたハイブリッド化の傾向がみられることが分かった。一方で炭素繊維素材では高機能なものが開発され、液晶製造装置などに必須のものとなり、材料技術のみならず設計技術についても格段の進歩があったと判断できる。

また、長岡技術科学大学 田辺教授が開発した材料物性値計算プログラムにより、上記機能要求を満足するための複合材料シミュレーションを実施した。しかし、将来の工作機械を想定した性能を実現するためにはダイヤモンドやセラミックスを多用せざるを得ないことが分かった。

これらの調査結果から、将来の工作機械を単一材料で要求仕様を満足することは困難であり、異種材料の組合せ（ハイブリッド化）による対応が考えられ、単体では強い異方性

を有しつつも適切な設計で高い機能の実現可能性を有する繊維系複合材の検討を進める必要があると思われる。炭素繊維の優れた機械的特性とアルミニウムや鉄系材料と組合せて機能性を付与する例も見られる。そのような材料の設計に関する課題を認識しつつもその将来の可能性は大きいと判断される。

ただし、複数の材料で1台の機械を構成する場合に重要なのはその設計技術であり、異種材料の組合せに関する基礎的な検討から調査と設計技術の確立を、産学連携により早急に進めるべきである。

1. はじめに

工作機械の更なる性能向上に向け、機械構造や各要素の研究開発に加えて構造材料に関する研究も世界各メーカーで行われている。本会においても、系統的な調査研究が長い時間途切れていたことから、「工作機械構造材料」の調査研究を開始した。

従来材料に代わる新たな構造材料の工作機械への適用可能性を探るべく、今年度は、工作機械部位毎の機能要求の調査、文献調査、材料メーカーヒアリング調査、複合材料シミュレーション等を通じて、将来あるべき工作機械のイメージとその具現化の方向について考察した。

2. 調査研究の概要

2. 1 事業名

工作機械の新構造材料に関する調査研究

2. 2 調査研究の目的

本事業は、近年、調査研究のあまり行われていない工作機械用新構造材料（コンクリート、アルミ、セラミックス、石材等）について、各所における新構造材料の適用事例や研究開発状況等、広範囲に亘って調査を実施し、工作機械への適応の可能性と課題について調査研究を行う。これにより、新構造材料を適用した次世代工作機械の開発イメージを明らかにし、将来の製造業における飛躍的な生産性向上を図る。

2. 3 調査研究期間

この委員会の研究期間は、平成22年度から1年度とする。

2. 4 調査研究組織

本調査研究は、日工会技術委員会・研究開発部会に専門委員会を設け、日工会会員の企業委員数名により調査研究を推進した。

2. 5 委員会開催状況

委員会開催状況を掲載

3. 工作機械の構造材料に関する研究開発状況について

3. 1 工作機械構造材料に関する研究文献の分析

本調査研究では、工作機械構造材料に関する研究開発動向を把握すべく、学術論文を参照するために、日本語又は英語の全文が存在する文献 60 件を分析対象とし、全体の概要と各文献の要約を取りまとめた。ここでは全体の概要についてのみ触れる。

(1) 年代別、国別の文献発表状況

発表全数を国別にみると、日本が約 6 割を占め、その他の国はいずれも 1 割以下となっている。なお、分析対象を日本語及び英語の文献としているため、特にヨーロッパ圏から発表されている文献は少なくなっている。

(2) 材料別の文献発表状況

材料別に文献を見ると、「その他」を除いて、「コンクリート」が最も多く、次いで「FRP」、「セラミックス」、「鋼板」、「石材」が多い。なお、年代別に傾向を見ると 2000 年以前は「コンクリート」に関する文献が多いものの、2000 年以降は「FRP」に関する文献がやや増加している。

コンクリートに関する研究は完了して実用段階に至ったと判断できる。その後の傾向として FRP に関する研究に比重が移ったということは、圧縮応力を主に支持するコンクリート系材料の設計と異なる要求が増してきていることが考えられ、特に引張りに強い繊維系材料に重点を移しつつある点は時代的な趨勢としてとらえることができる。

(3) 各国の材料別文献発表状況

母集団の関係から、日本が多いことは自明であるものの、日本では「コンクリート」に関する文献が最も多いことが分かる。「コンクリート」については、日本以外にドイツ、シンガポール、オーストリア、アメリカから発表されている。

(4) 各材料の適用目的

比較的件数の多かった「コンクリート」、「FRP」、「セラミックス」、に関する文献について、それぞれの適用目的を示す。

①コンクリート適用の目的

コンクリート適用の目的は、「振動（びびり）抑制」が最も多く、次いで「熱変形抑制」、「軽量化」の順となっている。これはコンクリートが持つ内部減衰の高さを活かそうという設計指針ととらえられる。ただし、コンクリート系材料の線膨張係数は必ずしも小さくなく、また熱伝導率の悪さから定常的な変形に至るまで長い時間を要するため、熱変形抑制に対しては十分な効果が得られるかどうか疑問も持たれる。

②FRP 適用の目的

FRP 適用の目的は、「軽量化」が最も多く、「その他」は主に振動減衰能の改善を目的としている。次いで「振動（びびり）抑制」、「熱変形抑制」の順となっている。軽量で内部減衰が大きい材料としては可動部分の構造材料として適用する可能性を秘めている材料と考えられる。ただし、線維の配向によって機械的性質が大きく異なるため、その設計には注意を要すると考えられる。

③セラミックス適用の目的

セラミックス適用の目的は、「熱変形抑制」と「振動（びびり）抑制」が最も多く、次いで「軽量化」、「耐久性向上」の順となっている。セラミックスの特徴として、密度が小さくヤング率が高い点は挙げられるものの、内部減衰は必ずしも大きくない。

また、コンクリート系材料と同様に、線膨張係数は必ずしも小さくはなく、熱伝導率が低いことから熱変形が定常状態に至るまでに長い時間を要する。熱に鈍感と言えそのとおりではあるが、時間経過に伴って精度が安定しないなどの状態も想定される。

3. 2 材料メーカーヒアリング調査結果

工作機械用構造材料の開発状況についての現状を把握するために、アルミ・セラミックス複合材、PAN 系・ピッチ系炭素繊維、M2052 制振合金、ミネラキャスト、ねずみ鋳鉄・球状黒鉛鋳鉄等、各種材料の製造を行っている計6社について、ヒアリング調査を実施した。なお、ヒアリング調査は材料メーカーへの直接訪問または本調査研究委員会におけるメーカーからの話題提供により実施した。ヒアリング調査を実施する上でのポイントとしては次の通りである。

- ①構造材料の特性と特徴（減衰能、剛性、熱変位特性、経時変化等）
- ②構造材料の加工性・コスト
- ③構造材料の工作機械への適用事例と今後の展望

今回の調査を通じ、いずれの材料も、FC材と比較し材料特性上優位性を持つ面も多いものの、高硬度のため加工性に難がある点、一部コストが高くなるという点での課題があることがわかった。しかし、工作機械への適用を考慮するにあたっては、これら加工性やコストの問題を踏まえつつも、その特性を活かすための適材・適所の設計技術と利用技術の構築を行う必要があることを改めて認識するに至った。

アルミ・セラミックス複合材については、比重が軽いため、構造体の軽量化を行える利点があり、機械の高速化・省エネに対して有効な材料と言える。一方で、耐衝撃性の問題で構造物の干渉が起きた場合の変形の影響が憂慮される。また、ヤング率が鋳物と比較して低い分、断面形状を大きくし、変形を抑える等の対策はあるが、その分構造物の形状を大きくする必要はある。

炭素繊維については、軽量で振動減衰能が優れており、高速な送り運動を伴う機械部位への適用に有効と思われる。一方で、異方性が非常に強い材料なため設計段階で繊維の配向を十分に検討する必要がある。また、クラッド材を適用して異種材料と組み合わせた場合は、結合面の接触剛性や熱抵抗の影響を事前評価する必要がある。これらの影響を踏まえつつ設計上の配慮が必要となる。

M2052については、外力が加わった状態で制振性能を発揮するため、大物構造材への適用より、部分的な制振材として使用するケースで期待できる。その場合、部材間に挟み込む形ではなく、並列で構造体に貼り付けるような使い方が考えられる。ただし、弾性限度以下のひずみが効率的に伝わるように配慮した設計が必要となる。

ミネラキャストについては、比重が軽く振動減衰能に優れており、一部の欧州工作機械メーカーにおいても適用が進んでいる。一方で、熱伝導率が極めて小さいため、恒温環境下への機械設置が必須である。また、線膨張係数のばらつきがあることから、使用部材によっては熱変形が均一にならない恐れがある。また、別途加工が必要になる部分には鋼材を鋳込むが、鋼材部分で荷重を受けた場合の、部材全体の平均的な特性と鋼材周辺の特性にある程度違いが出ることも考えられる。

ねずみ鋳鉄は現状、工作機械構造材料として広く使用されている。一方、ダクタイル鋳鉄は耐摩耗性・耐熱性に優れておりヤング率も高い。反面、減衰性が悪くなる点があるため、特性に応じてねずみ鋳鉄と使い分けを行うことが考えられる。鋼材と鋳物との複合材も開発が進み、それぞれの長所をうまく活かした使用方法を構築することで、そ

の効果期待できる。

4. 複合材料シミュレーション結果

4. 1 緒 言

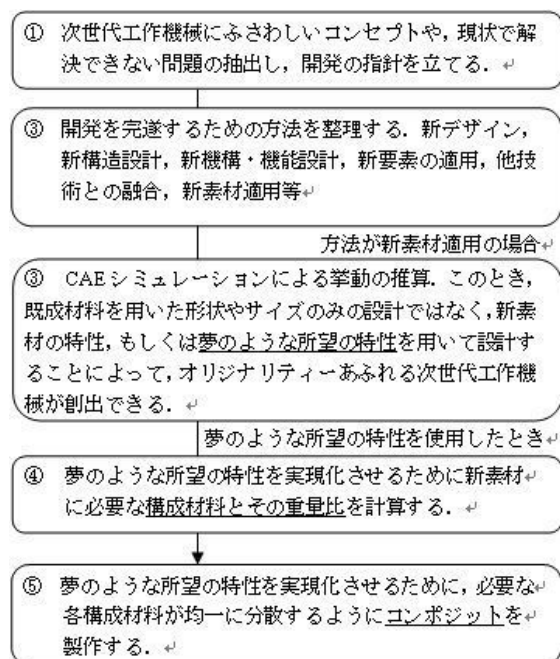
工作機械構造材料として、1980年から1995年ごろまでの間に、コンクリートの適用に関する研究が盛んに行われた。その後、熱変形抑制のための低線膨張率材料の開発や振動高減衰材料の開発が行われている。その間に、21世紀のものづくりを支えるために、工作機械の超精密化や高速化が行われてきた。これらの工作機械技術の進歩を支持し、さらなる発展を遂げるために、所望のハイブリット特性を有する新素材の開発が行われ始めている。

この章では、新素材を適用して次世代工作機械を開発する手法と、所望のハイブリット特性を有する新素材を創出するためのソフトウェアを紹介する。このソフトウェアは、①構成材料とそれらの重量比の入力に対して、密度、熱伝導率、線膨張係数、比熱、ヤング率の出力をする機能と、②密度、熱伝導率、線膨張係数、比熱、ヤング率のうちの複数特性値に対して所望の値とその許容範囲の入力に対して、そのハイブリット特性を有する新素材を創出するための構成材料群とそれらの各重量比の候補を出力する機能を有しており、工作機械のさらなる超精密化や高速化のために新素材適用を検討する際に、きわめて有効なツールになると考えられる。

4. 2 新素材を適用して次世代工作機械を開発する手法

かつて新素材を工作機械に適用して高品位化を志向したときには、その材料の持つ特長的な1つの特性に着目して、局所的な適所にそれを配して工作機械として特長の向上を試みる程度であった。CAEはさほど一般的ではなかったものの、きわめて長時間のモデル作りや結果の表示を行えば、使用した新素材がどの程度効果があるかをデジタルデータで把握することができた時代である。

下図に現在まで進歩したさまざまな技術を駆使して、新素材を適用して次世代工作機械を開発する手法の1例を示す。



新しい工作機械を開発するために新素材の適用を志向したとき、CAE シミュレーションによる挙動の推算をする。このとき、既成材料を用いた形状やサイズのための設計ではなく、新素材の特性、もしくは夢のような所望の特性を用いて設計することによって、オリジナリティーあふれる次世代工作機械が創出できる可能性が生まれる。とくにこの夢のような所望の特性を使用することによりできる新素材の種類はきわめて多大になる。その後、夢のような所望の特性を実現化させるために必要な構成材料とその重量比は、後述の田辺らが製作した新素材創出ソフトウェア「魁」で計算することができる。最後に、夢のような所望の特性を実現化させるために、必要な各構成材料が均一に分散するようにコンポジットを製作する技術は先のコンクリート製工作機械ブームの時にすでに開発済みである。

上記のような研究成果を活用し、一例として、次世代工作機械にふさわしいコンセプトとして、動剛性が高くびびり振動が起きにくい旋盤を開発するとこととし、「魁」により計算されたコンポジットを適用した刃物台を製作した。これを適用し開発された旋盤ではびびり振動を抑制し、加工物の表面粗さを改善することができた。

4. 3 ハイブリット特性を持つ新素材の創出用ソフトウェア「魁」

ここでは、本ソフトウェアで密度、ヤング率、線膨張係数、比熱、熱伝導率の計算に使用している計算モデルの説明をする。ソフトウェア中の「①構成材料とそれらの重量比の入力に対して、密度、ヤング率、線膨張係数、比熱、熱伝導率の出力をする機能」のためには、CAE で各構成材料がそれらの重量比に従って均一に分散している FEM モデ

ルを作成し、各特性値を計算する手法や、実際にその構成材料とそれらの重量比で新素材を製作し、各特性値の実測を行う手法が考えられるが、いずれの手法も時間的・人的負担がきわめて大きい作業である。さらに、「②密度、ヤング率、線膨張係数、比熱、熱伝導率のうちの複数特性値に対して所望の値とその許容範囲の入力に対して、そのハイブリット特性を有する新素材を創出するための構成材料群とそれらの各重量比の候補を出力する機能」に関しては、ソフトウェア内で FEM モデルを自動生成し、CAE シミュレーションをバッチ処理で行うことも考えられるが、既成の CAE ソフトに対して自動で FEM モデルを創出するプログラムが困難であること、また、その計算時間がきわめて長くなることが予想されるため、ここでは代数式モデルを使用して、密度、ヤング率、線膨張係数、比熱、熱伝導率を計算することにした。

密度に関しては、式(4-1)のモデルを使用した。

$$\begin{aligned}
 V_s &= W_s \cdot \rho_c / \rho_s \\
 V_m &= W_m \cdot \rho_c / \rho_s \\
 V_g &= W_g \cdot \rho_c / \rho_g \\
 V_e &= W_e \cdot \rho_c / \rho_e \\
 V_a &= 100 - (V_s + V_m + V_g + V_e)
 \end{aligned} \tag{4-1}$$

ヤング率に関しては、式(4-2)のモデルを使用した。

$$E_c = E_t \left\{ 1 + \frac{V_d}{E_d / (E_d - E_t) - V_d^{1/3}} \right\} \tag{4-2}$$

線膨張率に関しては、式(4-3)のモデルを使用した。

$$\alpha_c = \frac{\alpha_d \cdot V_d + \alpha_t \{ 1 + (Y-1) + V_d^{1/3} - Y \cdot V_d \}}{1 + (Y-1) (V_d^{1/3} - V_d)} \tag{4-3}$$

比熱に関しては、式(4-4)のモデルを使用した。

$$C_c = [W_s \cdot C_s + W_m \cdot C_m + W_g \cdot C_g + W_e \cdot C_e + \{ (100 - (W_s + W_m + W_g + W_e)) C_a \}] / 100 \tag{4-4}$$

熱伝導率に関しては、式(4-5)のモデルを使用した。

$$\lambda_c = \lambda_t \frac{K \cdot V_d^{2/3} + (1 - V_d^{2/3})}{K \cdot (V_d^{2/3} - V_a) + (1 - V_d^{2/3} + V_a)} \quad (4-5)$$

なお、計算モデル中、計算誤差が±20%に達しているのが、ヤング率と熱伝導率である。これはコンポジットに含有している空気の分散形態や局所的な偏りが原因しているものと考えられる。局所的偏りに関しては予測不可能であるが、空気の分散形態がヤング率と熱伝導率の計算精度に与える影響を CAE で考慮し、計算モデルの改良を行った。その結果、ヤング率と熱伝導率の計算誤差が±10%まで軽減できた。これは、ソフトウェア「魁」に搭載されている。

4. 4 魁を用いた複合材料シミュレーション結果

本企画に参加された企業委員から寄せられた、「各企業において今後必要と考えられる工作機械構造材料の特性値」のアンケート結果を達成できる新素材を、開発した「魁」で計算をした。計算は、コンポジット材料に関するもので、所望の特性値の±10%以内で、計算精度良い順から結果を表示した。

4. 5 結 言

次世代工作機械の礎の一つとして、ハイブリッド特性を有するコンポジットを開発するためのツールとして「魁」を開発し、各企業において今後必要と考えられる工作機械構造材料の特性値を再現できる新素材の成分計算を行った。「魁」の計算精度は、密度、比熱、線膨張率では 95%、ヤング率と熱伝導率では 90%であった。とくに、高剛性とか、高い熱伝導率を要求された場合には、その成分としてダイヤモンドが必要である場合もあり、要求が極めて高く、それを具現化するためには多大なコストが要求されるケースがあることを垣間見ることができた。しかし、次世代工作機械への夢を具現化するための一つのツールとして、ハイブリッド特性を有するコンポジットの適用は、きわめてユニークであり、その際、「魁」は有効に利用できると考える。

5. 新材料を応用した工作機械の将来イメージの分析

<はじめに>

将来の工作機械イメージとして、高機能材料を適用するかあるいは部位毎に適切な材料を用いることで、精度安定性や耐びびり性などの性能を高めた機械が想定される。構造材料の特性でどこまでの向上が図れるかということが本調査研究の課題である。これ

まで2年間の活動を通じて得られた結果を簡潔にまとめると次のようになる。

- ・企業委員に対するアンケート結果を行い、工作機械部位毎の機能要求を明らかにした。
- ・文献調査の結果、コンクリート系材料の研究から繊維材料系のそれへシフトする傾向がわかり、液晶装置関連では比剛性の高さを既に活用していることが分かった。
- ・材料メーカーに対するヒアリングを行った結果、アルミとセラミックス系などの材料を複合化させた開発と適用が進みつつあることが分かった。
- ・コンクリート構造特性のシミュレーション技術の拡張が行われ、複数の機能を同時に満たすことができるようになった。しかし、低コストで厳しい要求に応えられる材料はなかった。

本報告書の第3章にも示したとおり、工作機械への新素材の適用研究は近年必ずしも活性化していない。しかし、コンクリート系、繊維強化系を含め、異種材料を含めたハイブリッド化の傾向がみられることが分かった。一方で炭素繊維素材では高機能なものが開発され、液晶製造装置などに必須のものとなっており、材料技術のみならず設計技術についても格段の進歩があったと判断できる。

同じく、第4章の結果より、コンクリート系のハイブリッド化では田辺委員らが開発した設計技術を用いて性能予測が可能となったものの、将来の工作機械を想定した性能を実現するためにはダイヤモンドやセラミックスを多用せざるを得ないことが分かった。

結論として、将来の工作機械を単一材料で要求仕様を満足することはできず、異種材料の組合せ（ハイブリッド化）に頼らざるを得ないものの、コンクリート系の設計では繊維系の材料特性を十分に活かすことが容易ではない状況にある。残された選択肢として、繊維系材料を活用する設計・製作技術の検討も進める必要があるとの立場に立ち、以下で具現化の方向を考察する。

<理想的な材料開発に対する期待>

昨年度の活動および今年度のシミュレーションを通じ、工作機械各メーカーが材料特性として非常に厳しい要望を持っていることがよくわかった。これらの要求仕様を材料メーカーに提示し、高機能素材開発を促すことも重要である。たとえば、高い比剛性を有するとともに線膨張係数は限りなくゼロに近く、また、高い内部減衰能をもつ素材があれば理想的である。しかし、高い弾性率と高い減衰能を両立するのは原理的に困難であり、自ずと限界がある。今年度の調査研究でもわかったように、従来の鉄系材料（たとえば鋳物）の高機能化を図ること程度の対応しかないと考えられる。

ただし、材料メーカーに開発を促すにしても、その需要が工作機械業界に限定されるのであれば材料メーカー側の動機付けも弱くなる。さらに工作機械メーカー側が本気になって採用しようという意気込みがないとすると材料メーカーの姿勢に影響する。よって、夢のような材料を望むことは必ずしも現実的ではないと考えられる。とくに今回のヒアリング調査では、リーマンショック時の工作機械関連からの受注の乱降下の影響を強く受けた旨の発言もあり、材料メーカー側の対応も慎重になっていると言わざるを得ない。

<適材適所設計の考え方（異種材料・別部材の組合せ）>

アンケート調査で明らかになったが、各機種の各部位にはそれぞれ異なる特性が求められる。例えば、クロスレールやラムの曲げ剛性向上が求められているとともに、主軸頭やサドル、テーブルには軽量化が求められ、また、コラムやラムの熱変形抑制が求められている。

これらの要求に対し、曲げ剛性向上のためには断面2次モーメントを増すか、あるいは弾性率の高い材料を適用する必要がある。今年度に調査を行った炭素繊維系材料は軽量で弾性率も高く、有望な材料のひとつと考えられる。

軽量化のために材料密度を下げる必要があるものの、剛性の低下を避けるためには素材選定を慎重に行う必要があり、たとえば上記のサドルやテーブルにアルミ系材料や炭素繊維系材料の適用が考えられる。また、ベッドや寸法安定性や減衰能を高めるためにはミネラキャストの適用も考えられよう。

熱変形抑制のためには素材の線膨脹係数を小さくする必要がある。この場合にも他の機械特性を犠牲（たとえば弾性率の低下）にしてしまう懸念があり、今年度の活動で行ったような材料特性シミュレーションの活用は有効なものと考えられる。

コンクリート系材料の特性シミュレーション技術は確立された。しかし繊維系材料のシミュレーションは、材料メーカーでは行われているものの工作機械部材への適用という観点からは未完の状況にあり、たとえば軽量化と高剛性化を兼ね備えた材料の設計技術は確立できていない。

なお、異種材料からなる部材の組合せを行う際には種々の課題が懸念される。たとえば結合面の粗さや機械的特性に応じて他部材との間の接触剛性が低下する可能性があり、部材本来の弾性率から計算される剛性が得られない可能性もある。異種材料の結合部では接触熱抵抗も増大する可能性があり、断熱作用によって内部温度に大きなムラが発生する危険性もある、さらに部材間で電位差が発生することも懸念され、不要な腐食が起きることも考えられる。長期的な精度の保証を考えた場合、材料配置・配分に関する設計指

針の確立が急務と言える。

<ハイブリッド設計技術の検討>

前節で述べたように適切な材料を適切な場所に配することは当然である。問題は、機能要求を満足する素材が存在しない場合である。そのような場合、(1)複数の機能材料を別部材のまま組合せるという設計と、(2)1部材を複数の機能材料で構成するというハイブリッド化が考えられる。

<今後の課題>

部材のハイブリッド設計が将来の工作機械を支える技術の1つになるとの立場に立ち、これを実現するための今後の課題として以下のようなものが考えられる。

- ・部材が具備すべき機能要求を満足するような複数機能材料の選択と配置設計
- ・上記を実現するためのプロセス技術。具体的には複数素材間の接着技術や、マトリックスに対する繊維の濡れ性改善技術などが挙げられる

複数の機能材料を組合せることを前提とする以上、固有の材料メーカーに技術開発を委ねることは難しいと考えられる。材料メーカーは工作機械の特性を必ずしも十分には理解しておらず、また、工作機械メーカーも材料利用技術を熟知しているとは言い切れないことを考えると、材料メーカーと工作機械メーカーの長期に亘る連携が必須と考えられる。ただし、最終的な実用化開発を進めるのは工作機械メーカー自身である。独自に開発を進める必要がある。

有機材料を不用意に用いた場合の懸念として長期に亘る精度維持があり、接着剤の劣化や残留応力の解放などに伴って形状精度が劣化することが考えられなくもない。従来どおりのビジネスモデルでは10年以上に亘って高い信頼性を有する機械が求められたかもしれないが、今後の工作機械のビジネスモデルとして、性能維持のためのメンテナンスを前提とした機械があってもよいかと考えられる。顧客の理解を得るには時間が要するかもしれないが、コピー機やプリンタの例に見られるようにイニシャルコストは安くともランニング・メンテナンスコストでビジネスを成立させる考え方もあると考える。現状では軽視されがちな工作機械関連に関する知的財産権についても同様の課題がある。

6. おわりに

工作機械の更なる性能向上に向け、今年度は構造材料に関する事例調査の深化、文献調査の継続および将来的に求められる材料仕様の調査などを行った。

今回の調査研究結果から至る一つの帰結として、単体では強い異方性を有しつつも適切な設計で高い機能の実現可能性を有する繊維系複合材の検討を進める必要があると考えられる。すなわち、工作機械に適合した唯一無二という理想材料は見当たらず、炭素繊維の優れた機械的特性とアルミニウムや鉄系材料と組合せて機能性を付与する例も見られる。そのような材料の設計に関する課題を認識しつつもその将来の可能性は大きいと判断された。

活動の最後に、将来あるべき工作機械のイメージ検討を行った。その根拠となるのは工作機械各機種 of 部位と機能の相関と、材料メーカーの調査結果である。たとえば高速移動する部位については鉄系材料から CFRP 等の軽量な材料に変更して軽量化を図ることが考えられる。報告書での検討は十分な議論を尽くしたものではなく、更なる検討が必要であろう。

また、複数の材料で1台の機械を構成する場合に重要なのはその設計技術である。機械の総合的な性能を予測する技術が確立されていない状況でやみくもに異種材料を組合せることでは効果が期待できず、異種材料の組合せに関する基礎的な検討から調査と設計技術の確立を進めるべきと考えられる。これらの検討を単一企業でこれを進めることは容易ではなく、複数の企業連合と大学・研究所等の連合が必須となろう。本委員会活動がこのような活動のきっかけとなることを期待する。



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>