



技術 (1) インターカレーション法によって合成した有機無機ハイブリッド型固体潤滑剤



1. 概要

冷間鍛造の分野では、1934年に発明されたりん酸亜鉛皮膜が、潤滑皮膜として現在でも広く用いられている。この皮膜は極めて良好な潤滑性を有する一方で、成膜に化学反応を利用するため成膜効率が悪く、成膜工程から大量の廃棄物が排出される等、環境負荷が高いことが問題視されている。それ故、2000年以降、成膜に化学反応を利用しない塗布型潤滑皮膜への移行が徐々に進んでいる。

本技術は、層状粘土鉱物の一種であるマイカの潤滑性向上を目的に、インターカレーション法によってマイカの層間、すなわちへき開面に、有機系潤滑成分であるアルキルアンモニウムを担持させた有機無機ハイブリッド型固体潤滑剤

である。本技術を塗布型潤滑皮膜に適用することで、潤滑性はりん酸亜鉛皮膜と同等レベルを維持しつつ、成膜効率を向上させ、環境負荷を大幅に低減することが可能となった。

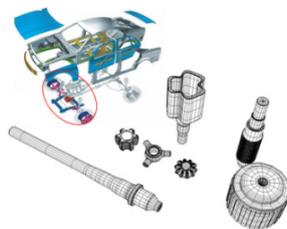


図1 冷間鍛造で成形された部品の一例

2. 技術の内容

2.1 インターカレーション法

マイカは厚さ約 1 nm のシリケート層が層状に積層した粘土鉱物の一種である。その層間にはナトリウムなどの陽イオンが介在し、静電引力によって負に帯電したシリケート層をゆるく結合している。層間のナトリウムイオンは、イオン交換反応によって他のカチオン性化合物に置換することが可能で、この手法はインターカレーション法と呼ばれる (図2)。本技術では、潤滑成分としてアルキル鎖長が C=18 の 2 本鎖型アルキルアンモニウムをマイカの層間に担持させることで、へき開性を向上させている。

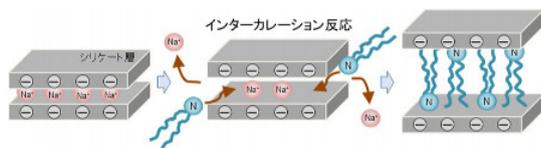


図2 有機無機ハイブリッド型固体潤滑剤の合成

2.2 有機無機ハイブリッド型固体潤滑剤の諸性能

図3に、据込みボールしごき試験による各潤滑皮膜の潤滑性評価結果を示す。この評価では、予め成膜処理した円柱状のピレットを据込み加工し、樽状に張り出した側面を SUJ2 ボールでしごき加工す

る。潤滑性の評価は、しごき加工における最大加工荷重としごき面の外観によって行う。有機無機ハイブリッド型固体潤滑剤を主成分とする潤滑皮膜では、従来技術であるりん酸亜鉛皮膜と同等レベルまで潤滑性が向上していることがわかる。また、参考までに二硫化モリブデンを主成分とする潤滑皮膜とも比較したが、耐かじり性に関しては、有機無機ハイブリッド型固体潤滑剤の方が良好であった。

表1に、生産性および環境負荷に関する諸性能を示す。有機無機ハイブリッド型固体潤滑剤を主成分とする潤滑皮膜の場合は成膜に化学反応を利用しないため、りん酸亜鉛皮膜と比較して、成膜時間の大幅な短縮が可能となった。さらに、排水や反応副生成物等の産廃物および CO₂ 排出量も、10%未満に削減することができた。

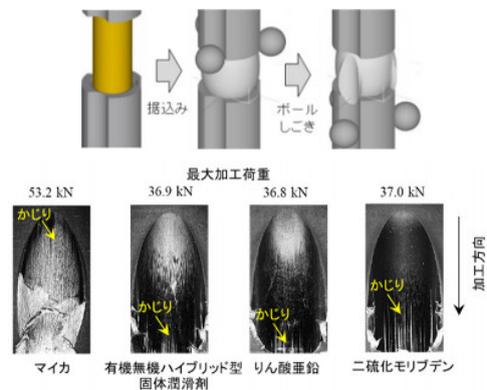


図3 据込みボールしごき試験による加工性評価結果

表1 生産性および環境負荷に関する諸性能

	りん酸亜鉛	有機無機ハイブリッド
成膜時間, min	20~40	2~3
産廃物量, %	100	0~10 (相対比)
CO ₂ 排出量, %	100	0~10 (相対比)

3. まとめ

本技術によって、従来技術であるりん酸亜鉛皮膜と同等レベルの潤滑性を維持しつつ、同時に生産性の向上と、環境負荷の大幅な低減が可能となった。インターカレーション法では、担持可能なカチオン成分の候補は無数にあるが、適切な成分を選択することによって、目的に応じた機能を自在に層状物質に付与できる可能性がある。本技術が近い将来、固体潤滑剤の高機能化と地球環境保全に大きく貢献することを期待している。

*1 正員, 日本パーカライジング(株) (〒254-0012 神奈川県平塚市大神 2784)
*2 日本パーカライジング(株) (〒103-0027 東京都中央区日本橋 1-15-1)
*3 フェロー, 東京理科大学工学部 (〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1)

(2) 第2世代燃料電池駆動システム

写真 候補者 1	写真 候補者 2	写真 候補者 3	写真 候補者 4	写真 候補者 5
奥村 暢夫*1	井田 敦巳*1	高橋 剛*2	中村 謙五*2	山下 顕*2

1. 概要

トヨタ自動車は、地球環境問題を最重要課題の一つと捉え、様々な技術に取り組んでいる。その中でも水素を燃料として使う燃料電池車は走行時にCO2を排出せず、カーボンニュートラル(CN)社会実現の柱として重要度が益々高まっている。2014年に第1世代燃料電池駆動システム：トヨタフューエルセルシステム(TFCS)を搭載した初代MIRAIの市販に続き、更なる普及と乗用車以外への展開性向上を目的として、TFCSを全面的に刷新して高性能・小型化と低コスト・量産性を両立した「本格量産型の第2世代TFCS」を開発し、新型MIRAIに搭載して2020年12月に発売した。

2. 技術の内容

2-1. 第2世代TFCS概要

第2世代TFCSのシステム(図1)は、FCスタック、昇圧コンバータ、システム部品類、高圧水素タンクから構成され、第1世代と同様に、外部加湿器を不要とした簡素なFCシステムを踏襲している。但し、居住性向上と車両の組付け性を考慮し、従来のエンジンと同様、フード下に搭載するため、FCスタックと高電圧部品の昇圧コンバータや補機類をコンパクトに一体化し、高圧水素タンクも2本から3本に増やして航続距離を拡大している。

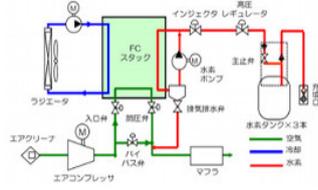


図1 システム図およびシステム搭載図

2-2. FCスタックの技術革新

スタックを構成するセルの構造と電極の革新により、最大出力を第1世代の114kWから128kWに向上(セル当たり+26%)しつつ、体格を33L・41kgから24L・24kgへと27%の小型化・41%の軽量化を図り、世界トップレベルの出力密度5.4kW/Lを達成した。

セルの小型/軽量化のため、第1世代で4辺に配置していたマニホールドを左右2辺配置の対向流としつつ、第1世代でセパレータを3枚用いた3Dファインメッシュ流路構造から、ストレート溝流路に断面積を局部的に絞った抵抗部(絞り部)を設けたシンプルな構造に変更した。強制的に空気を電極内部に潜り込ませて触媒層への酸素供給と拡散層内の排水性を促進し、セルの小型化と構造簡素

化による低コスト化を実現した(図2)

電極には新規のカーボン担体とアイオノマ(プロトン伝導性ポリマ)を採用した。約80%の白金(Pt)を微細なメソ孔を有する新規多孔質カーボン担体内部に配置させて、アイオノマがPtに直接接触することによるスルホン酸被毒を抑制するなど触媒の活性を約50%向上した。更に、酸素透過性3倍、プロトン伝導度1.2倍の新規アイオノマにより物質移動を促進するなど、電極面積当たりの出力15%向上と出力当たりの触媒Pt量58%低減を実現した。

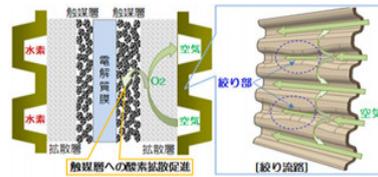


図2 絞り流路構造

2-3. 高圧水素タンク

高圧水素タンクはガスを気密する樹脂ライナー、高圧ガスに対する強度を担う炭素繊維強化プラスチック(CFRP)層、口金等からなる。高強度高弾性カーボンファイバーの開発によりCFRP層数を7%削減すると同時に、70MPaの長尺タンク(図3)を開発し、貯蔵性能は従来の5.7から6.0wt%に向上した。

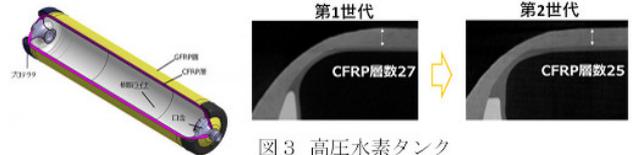


図3 高圧水素タンク

2-4. 高電圧およびシステム部品

FC昇圧コンバータのスイッチング素子にSiCパワー半導体搭載のパワーモジュールを採用し従来比80%の電力損失低減を実現した。

また従来のヘリカルルーツ式から世界初のトルク感応型可動ローラー式増速機を用いたターボ式エアコンプレッサを開発し、圧縮効率24%向上、35%軽量化、45%小型化を実現した。水素循環ポンプは新シール構造で耐食性を向上させ、素材をステンレスからアルミ化することで、41%の軽量化を実現している。

3. あとがき

第2世代TFCSのLCAでのCO2排出は、2.5L HEVと比較し副生水素で28%、再エネ由来水素で39%削減とCN社会実現に大きく貢献できる。本技術を搭載したFCシステムモジュールにより、乗用車以外の多様なアプリケーションへの幅広い拡大が期待されている。

*1 正員、トヨタ自動車㈱(〒471-8571 豊田市トヨタ町1)

*2 トヨタ自動車㈱(〒471-8571 豊田市トヨタ町1)

写真 候補者 1	写真 候補者 2	写真 候補者 3	写真 候補者 4	写真 候補者 5
折笠 朝文 ¹	渡邊 郁雄 ¹	藤井 寿朗 ¹	林 家佑 ²	高山 茂貴 ³

1. 概要

超電導磁石は超電導コイルにより発生する強力な磁場を利用する装置として各種業界で使用されている。超電導線を巻線したコイルは約 4K(-269℃)の極低温に冷却する必要があり、真空断熱容器に収納して使用される(図 1)。従来コイルはソレノイド型と呼ばれる円型のコイルが基本で、発生磁場分布の自由度が低く、効率も悪いという問題があった。当社は 3次元自由形状の超電導コイルを生産する技術を開発し、重粒子線がん治療装置や単結晶引上げ装置用超電導磁石に適用することで、大幅な軽量化や高効率化を実現した(図 2)。

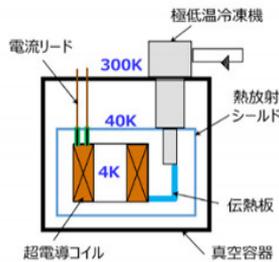


図 1 超電導磁石構造

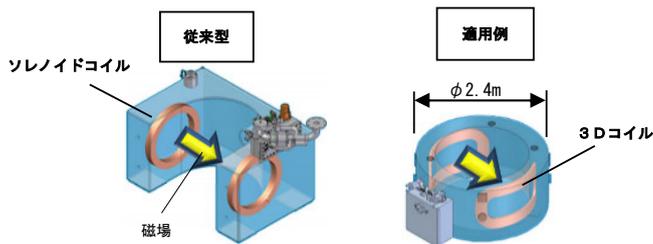


図 2 単結晶引上げ装置用超電導磁石への適用例

2. 技術の内容

コイルは直径 1mm程度の超電導線を数千ターン巻線し磁場を発生するが、開発した生産技術では巻枠表面に線を連続的に貼り付けながら巻線することにより自由形状のコイル形成を可能とした。

2. 1 コイル設計技術

複雑な磁場分布を高効率で発生するために、超電導線 1本毎の最適解を求める専用の計算コードを開発、同時に計算結果を巻線機の NC データに変換するシステムを構築した(図 3)。

2. 2 自動巻線機

計算通りの線配置を実現させるため、線の貼り付けに超音波溶着を採用、同時 6軸制御メカ機構により溶着ヘッド位置・姿勢を最適化出来る自動巻線機を開発した。ヘッドの軽量化、制御ソフトウェアの開発により位置決め精度±0.1mmの高精度な動作を実現した。

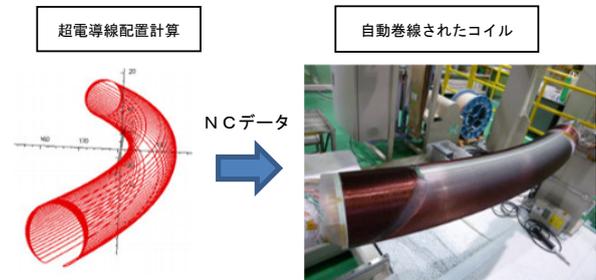


図 3 重粒子線がん治療装置用コイル計算例と巻線されたコイル

2. 3 接着材

コイルは極低温下で強い電磁力が加わるため、接着剤は極低温下で実績のあるエポキシ樹脂をベースとしてナノフィラー等の充填物を工夫することにより極低温下に必要な機械特性を得た。

2. 4 適用例

重粒子線がん治療装置の回転ガントリーに適用した例を示す(図 4)。本技術を適用することにより搭載する電磁石の超電導化に成功し、従来の半分の約 300トに小型・軽量化することが出来た。また前出の単結晶引上げ装置への適用では磁場発生効率が 2倍以上向上し低コスト化に貢献している。



図 4 重粒子線がん治療装置回転ガントリー(QST 病院)

3. まとめ

3次元超電導コイル生産技術は、磁場分布形成の自由度が高く、効率の良いコイルを作成することが出来る。磁場を強く出来る超電導の特性も併せ、磁場を高度に利用する各分野への応用範囲が広い。今後科学技術各分野向への発展に貢献するものと期待される。

¹ 正員、東芝エネルギーシステムズ(株)京浜事業所 (〒230-0045 横浜市鶴見区末広町 2-4)

² 正員、(株)東芝生産技術センター(〒235-0017 横浜市磯子区磯子町 33)

³ 正員、東芝エネルギーシステムズ(株)エネルギーシステム技術開発センター(〒230-0045 横浜市鶴見区末広町 2-4)

(4) ジョー再成形を不要にする高精度パワーチャックの開発

写真 候補者 1	写真 候補者 2	写真 候補者 3
北川 祐治 ^{*1}	北川 和紀 ^{*2}	西宮 民和 ^{*3}

1. 概要

旋盤用パワーチャックでワークを把握し、精度良く加工するためには、ジョーの把握面を旋盤で成形（機上成形）することが必要である。従来技術における把握精度は径振れ 10~20 μm T.I.R.程度であり、成形済みジョーを脱着すると把握精度が悪化するため再成形が必要となる。本技術は、BR チャック（図 1）と Tnut-Plus（図 2）で構成される。BR チャックの把握精度は 0~5 μm T.I.R.と圧倒的に良く、Tnut-Plus を使用すると、ジョーを脱着しても把握精度を維持する。



図 1. BR チャック



図 2. Tnut-Plus

2. 技術の内容

2・1 BR チャック 【特許 第 6345321 号、第 6411619 号】

ワークを把握するとチャックの内部部品には数〜数十 ton もの荷重がかかる。BR チャックは、内部部品の形状を工夫することで弾性変形を小さく抑えて、内部部品の位置を安定させることで、把握精度向上、ワーク浮上り抑制、回転による把握力損失抑制を実現した。

図 3 は従来型、図 4 は BR 型のマスタージョーである。BR 型はウエッジ部の幅が広いので荷重による弾性変形が小さくなる。

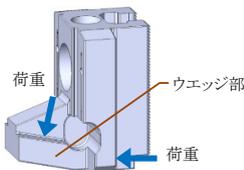


図 3. 従来型マスタージョー

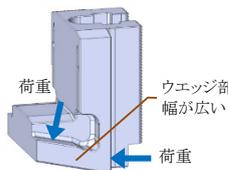


図 4. BR 型マスタージョー

図 5 は従来型、図 6 は BR 型のチャック断面である。プランジャより外周に向かって発生する荷重により従来型はチャック本体がおむすび状に弾性変形する。BR 型の荷重は分散しているので弾性変形は相対的に小さくなる。

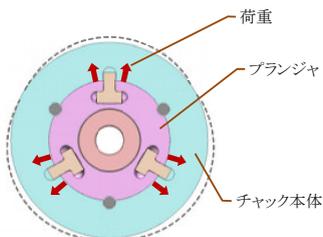


図 5. 従来型チャック断面

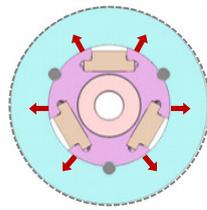


図 6. BR 型チャック断面

2・2 Tnut-Plus（特殊 T ナット） 【特許 第 6345375 号】

ジョーをチャック（マスタージョー）に取付けるには、セレーションを噛み合わせた後、T ナットにボルトを締付けて固定する。ジョー脱着で把握精度が悪化するのは「マスタージョー溝と T ナットの隙間①」と「ジョー溝と T ナットの隙間②」によるガタにより、成形時とジョーの取付け位置が変わることが原因である。（図 7）

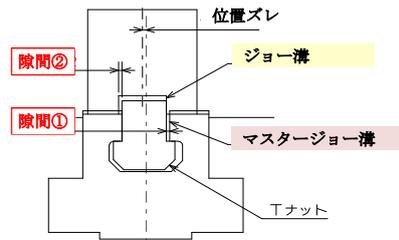


図 7. ジョー取付け断面

Tnut-Plus は隙間①と隙間②が両方 0 になる。ガタなく同じ位置に取付くので把握精度が悪化しない。隙間が 0 になるのは、Tnut-Plus の幅が 2 つの溝幅よりわずかに大きいためである。

具体的な構成としては Tnut-Plus の側面には変則的なスミが入っており、スミ部の幅は溝幅より小さくなっている。一方で、溝との接触部はズレた位置関係になっている。（図 8）この形状であればジョーを傾けることで Tnut-Plus を両方の溝に挿入できる。（図 9）この状態からボルトを締付けたら、セレーションが噛み合うことでジョーは強制的に真っすぐになる。この状態になると 2 つの溝と Tnut-Plus はわずかに干渉することから、両者間の隙間は 0 になる。（図 10）

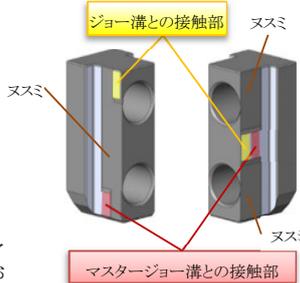


図 8. 変則的なスミ

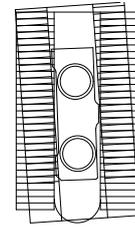


図 9. 傾けて挿入

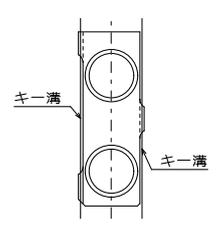


図 10. ボルト締付け後

3. 最後に

本技術は、パワーチャックにおける半世紀の常識を打ち破る革新的イノベーションである。旋盤加工の品質や生産性を大きく向上させ、ものづくりの根幹を支えていくものと確信している。

^{*1} 特別員、(株)北川鉄工所 (〒726-8610 広島県府中市元町 77-1)
^{*2} (株)北川鉄工所 KGh カンパニー (〒726-8610 広島県府中市元町 77-1)
^{*3} 正員、(株)北川鉄工所 KGh カンパニー 技術部 開発課 (〒726-8610 広島県府中市元町 77-1)

写真 候補者 1	写真 候補者 2	写真 候補者 3	写真 候補者 4	写真 候補者 5
田中 英一郎 ^{*1}	児玉 賢士 ^{*2}	廖 允廷 ^{*3}	石岡 利文 ^{*4}	神田 千秋 ^{*4}

1. 概要

物流、工場ライン、建設業、農業、介護等、様々な場面でを行う持ち上げ動作に対し、ファブリックメカニズム（ゴムベルトや伸縮布による機構）を用いたパッシブ式の補助スーツを産学連携によって開発した。大学の創成授業で提案された構造を基に、産学のメンバーで工場内合宿を度々行い、様々な機構や構造を提案したその場で試作と実験を繰り返し、開発期間を大幅に短縮して製品化した。

2. 技術の内容

日本の職業疾病の 6 割は腰痛であり、医学専門家からは持ち上げ動作時は膝を曲げて腰を落とし、蹲踞の姿勢を取って持ち上げ腰の負担を軽減することが望ましいといわれている。しかしこの場合、伸ばした腕にモーメントがかかり、腕の負担が増大することから、特に腕力のない女性から腕の補助が求められていた。また、場所によっては柵等があり膝を曲げられない場合があるため、引き続き腰部補助も必要である。腰部を補助する器具がアクティブ式・パッシブ式共に多数製品化されているが、その多くは腰のみを補助するためこれに対し、大学の創成授業の中で、2本のベルトにより腕と腰の両方を補助する構造が提案された（図1左）。

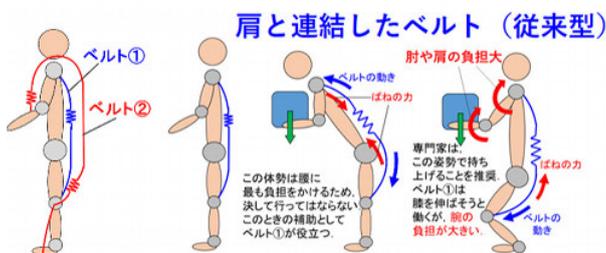


図1 補助スーツの基本構造とベルト①

ベルト①（図1右）は従来の腰部補助用スーツと同様だが、ベルト②（図2右、図3左）は、膝を曲げると肩越しにベルトが引っ張られて腕が上がる。しかし、腰をひねりながら動作すると、ひねった側の腕のベルトは緩み、反対のベルトが突っ張り、正しい補助力が得られなかった。そこで、上下左右には伸縮しないが対角線方向に引っ張ると伸び、他方の対角線方向が縮む繊維の特性を利用し、左右のベルト長を自動的に調整する機構を導入した（図3右）。その他背中を曲げると非線形に補助力が増加する機構など、各種ファブリックメカニズムは、教員や学生、企業担当者等産学のメンバーで工場内合宿を度々行った中で提案された。その場で試作と実験を繰り返すことにより開発期間を大幅に短縮でき、3年で製品化し2019年より販売開始した。

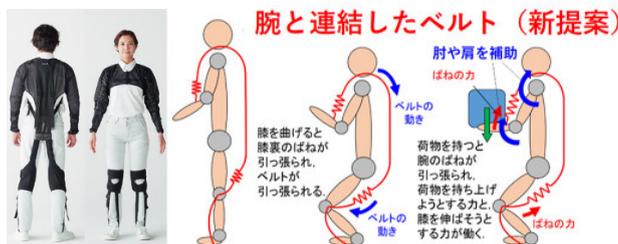


図2 補助スーツ装着時の様子とベルト②



図3 膝を曲げると腕が上がる構造と腰をひねったときの調整

本スーツを装着して予張力を与え、約10kgの箱を床から持ち上げたときの脊柱起立筋と上腕二頭筋の筋活動の変化を、健康男性20代7名と50代7名にて計測し、最大で3-5割軽減する結果を得た。特に50代は、腕力に頼れないせいか20代に比べて腰部の筋活動が高いことから、持ち上げ動作時は、本スーツに限らず何かしらの補助器具の使用を強く推奨するべきと考える。

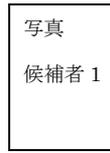
販売開始後2年間は、試験販売期間としてあえてインターネットのみでの販売とし、また購入企業・個人まで出向いて使用方法を説明し、納得してもらった上で購入頂き、購入後も感想や問題点などをヒヤリングし、使用者の声を反映して特に着心地や使い勝手の改良を重ね、2021年に改良版の新型を卸売りに切り替えて本格的に販売を開始した。現在、様々な業種の多くの企業に導入して頂いており、本スーツ使用により、少しでも多くの方の負担軽減に役立てることができれば幸いである。

*1 正員，早稲田大学理工学術院大学院情報生産システム研究科（〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの2-7）

*2 特別員，（株）Asahicho（〒726-0004 広島県府中市府川町110）

*3 元早稲田大学大学院情報生産システム研究科（〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの2-7）

*4 （株）Asahicho（〒726-0004 広島県府中市府川町110）



西 正人^{*1}



林 信哉^{*2}

1. 概 要

様々な産業で軽量・高強度化のキー材料として開発が進められている繊維強化プラスチック (FRP) は、繊維強化形態と樹脂の種類を組み合わせで工法が変わり、多種多様な成形工法が存在する。また、ハイサイクル化と低コスト化の両立に向けた成形プロセスの自動化に対応すべく、成形条件の事前検討が強く求められてきた。しかし、FRP シートや不連続長繊維 FRP に対しては、その成形中の材料挙動の複雑さから、これまで成形不良や成形荷重の事前予測が可能なシミュレーション技術は確立できていなかった。そこで、FRP シートの代表的な成形不良であるしわの発生および圧縮成形中の充填挙動や成形荷重を予測できる有限要素モデリング技術を構築し、FRP の複雑な成形プロセスおよびプロセスチェーンの解析を行うための解析システム「J-Composites®」を開発した。

2. 技術の内容

2.1 連続繊維 FRP のシート成形シミュレーション

連続繊維 FRP シートのプレス成形時の代表的な成形不良としてしわの発生が良く知られているが、しわの正確な予測には面内の異方性特性に加えて、面外曲げ特性を正確に解析で考慮することが重要である。一方、連続繊維 FRP シートは複雑な構造を持つため、その面外曲げ特性は圧縮・引張りの面内特性からは算定できない。受賞者らは、厚み中心位置に置いた面内特性を表現する膜要素に、面外曲げ剛性を考慮するため膜要素と節点を共有するシェル要素を2要素付加するシェル-膜モデルを提案した。面外の曲げ特性と面内の特性を相互依存がなく完全に独立に扱うことで、連続繊維 FRP シートのしわ発生を含む成形中の材料挙動の正確な予測を可能とした。(図1参照)

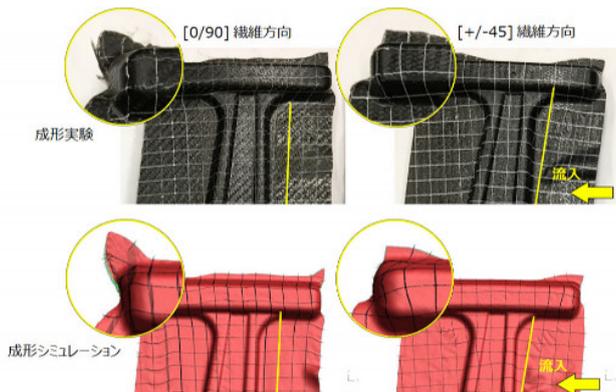


図. 1 自動車センターピラー部品のプレス解析事例

2.2 不連続繊維 FRP の圧縮成形シミュレーション

不連続繊維 FRP はリブなどの複雑な形状に成形できる高い成形自由度を持つだけでなく、繊維長が 25 mm の長繊維になると連続繊維に匹敵する強度特性を発現することが知られている。不連続長繊維 FRP の成形工法として圧縮成形が行われるが、成形により繊維が変形し、樹脂リッチ領域やウェルドラインが形成されるため、強度特性に大きな影響を与えることが課題となっている。受賞者らは、不連続長繊維の変形挙動をシミュレーションにより高精度に予測するために、繊維を有限要素法のビーム要素でモデル化する方法を採用した。マトリックス樹脂については自動的にリメッシングを行いながら大変形解析を行うテトラソリッド要素でモデル化し、ビーム要素とテトラソリッド要素の変形を連成させて圧縮成形解析を行う新たな手法を開発した。この連成計算において繊維が樹脂内部を流動する際の抵抗力を再現するために、ビーム要素とテトラソリッド要素の間で相互作用する摩擦モデルを開発した。図2は、不連続長繊維 FRP の成形実験とシミュレーションの結果を比較したものである。ビーム要素により繊維配向や樹脂リッチ領域を評価することが可能になり、ウェルドラインの形成を正確に再現した。

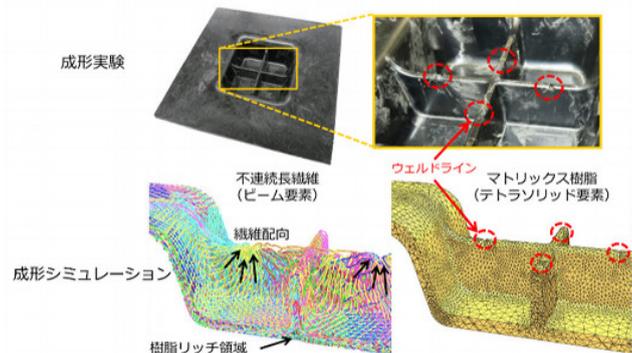


図. 2 十字リブ形状部品の圧縮成形解析事例

3. まとめ

開発した解析技術はシミュレーションソフト「J-Composites®」として商用化されており、自動車・重工・材料等の企業にて、開発・設計に活用されている。本技術により、今後の産業界において FRP の量産化が加速されることを期待している。

*1 正員, (株) JSOL (〒104-6205 東京都中央区晴海 1-8-12)

*2 正員, (株) JSOL (〒460-0002 名古屋市中区丸の内 2-18-25)

(7) 大容量トリプルロータリコンプレッサの開発

写真 候補者 1	写真 候補者 2	写真 候補者 3	写真 候補者 4	写真 候補者 5
平山 卓也 ¹	平野 浩二 ¹	志田 勝吾 ²	砂塚 欣弘 ²	四至本知秀 ²

1. 概要

エアコンの原理であるヒートポンプは、地球の熱を有効に利用できる省エネ技術として、カーボンニュートラル実現に向けより大容量の熱利用システムへの普及が期待され、心臓部となるコンプレッサにもその対応が強く求められている。これらの要求に応えるため、家庭用エアコン用途では最も普及しているロータリコンプレッサにおいて、圧縮部の気筒数を従来の2つから3つに増やし、1気筒あたりの流量と負荷を分散することで、大能力・高効率・低振動を実現する世界初のトリプルロータリコンプレッサを開発した。このコンプレッサの最大能力は容積型可変速機種では世界最大級で、従来の2気筒機種に対し、幅広い運転範囲で高効率であるとともに顕著な振動低減効果が得られた。



図 1 トリプルロータリコンプレッサ

2. 技術の内容

2.1 トリプルロータリ構造

図2に示すように、シリンダを軸方向に3つ並べ、3つある回転軸偏心部の偏心位相を120°等配とし、1回転あたり圧縮を3回行うことで、従来の2気筒2回圧縮に対し圧縮トルクが平準化し、回転トルク変動の大幅低減により、大容量にも関わらず低振動にできる。図3に同一吸込容積を仮定した従来2気筒のツインロータリと、トリプルロータリのトルク変動率の理論計算例を示すが、トリプルのトルク変動幅はツインの30%程度まで低減する。

トリプルロータリ構造の課題として、第2シリンダ部において回転軸のたわみが大きくなることと、第2シリンダ内径を回転軸心に対して高精度に位置決めすることが極めて困難であることが挙げられる。対策として、第1シリンダと第2シリンダの間に、図2に示す中間軸受を設け、第2シリンダはあらかじめ中間軸受内径を基準に中間軸受に調心固定する構造を開発した。この構造により軸たわみの最大量は半減し、軸受の信頼性も大幅に改善した。

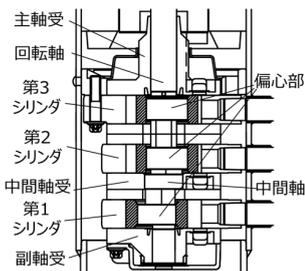


図 2 トリプルロータリ構造

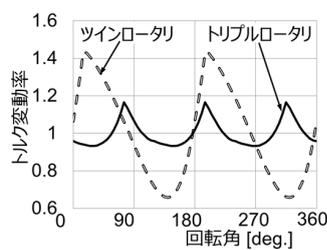


図 3 トルク変動の比較

2.2 マルチ吐出ポート構造

ロータリ圧縮機では、大容量化により冷媒流量が増大するにつれ、吐出弁を有する吐出ポート通過部での流路損失が大きく増大し、効率低下の主要因となる。そこで図4に示すように、吐出ポートをシリンダの上下両面に設け、2つのポート断面積はあえて異ならせ、それに伴い吐出弁の応答性も異なるマルチ吐出ポート構造を開発した。図5に大流量時と小流量時の吐出弁の挙動を測定した結果を示すが、2つの吐出弁の開閉タイミングが異なることで、過圧縮損失や流路損失を効果的に抑制し、広い運転範囲において効率を高く保つことができる上、吐出冷媒流分散化により吐出脈動を抑制し、騒音低減効果も得られている。

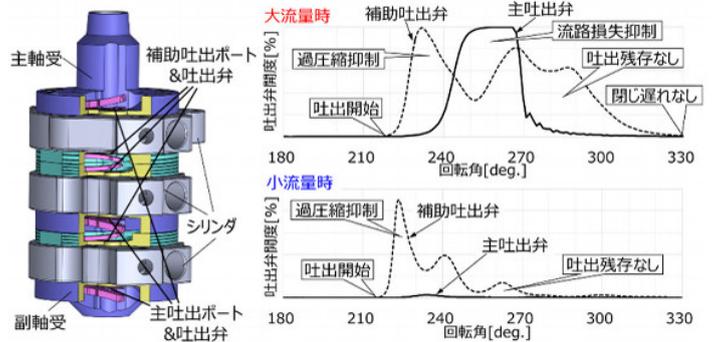


図 4 マルチ吐出ポート構造

図 5 各吐出弁の挙動

2.3 高効率ワイドレンジモータ（オープン巻線モータシステム）

圧縮部大容量化によるモータ出力増大に対応するため、2つの標準容量のインバータで1つの大出力モータを駆動するオープン巻線モータシステムを業界で初めて開発した。このシステムは、モータを2つのインバータと結線することで印加電圧を約1.7倍にでき、効率の低下なく高負荷域まで運転できる一方、低負荷域では、モータの結線を切り替えて、1つのインバータで駆動することで損失を抑制し、全領域での高効率運転を可能にした。

3. まとめ

開発モデルはビル用マルチ空調システムに搭載され、室外ユニットのコンプレッサを複数台から1台に集約し、システムの小型・大容量化、省エネ・省資源化に貢献している。開発モデルは従来の2気筒機種に対し、信頼性余裕度も向上しているため、更なる大容量化や利用温度帯の拡大、冷媒の低GWP化対応などを通じて、ヒートポンプ機器の発展に貢献していきたい。

¹ 正員，東芝キャリア（株）（〒416-8521 静岡県富士市蓼原 336）

² 東芝キャリア（株）（〒416-8521 静岡県富士市蓼原 336）