

No.200
Dec.2019

ISSN 0387-1304

住友重機械 技報

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES
TECHNICAL REVIEW

パワートランスミッション・
コントロール特集

Special Issue for Power Transmission & Controls

住友重機械技報 No. 200 2019

巻頭言

多様化する顧客ニーズに応える PTC

田中利治

パワートランスミッション・コントロール特集

論文・報告	製造，材料活用，設計技術の融合による高効率誘導モータの開発	中崎 修，山本泰三	1
	振動計測によるはすば歯車減速機のかみ合い伝達誤差の推定	南雲稔也	5
技術解説	精密小型減速機 ECY シリーズの開発	安藤 学	9
	精密制御用サイクロ減速機 F4C-DA シリーズの開発	阿部 瞬	11
	分散制御用インバータ DF-520 シリーズ	小松幹生	13
	ギヤモータ状態監視システムの開発	鈴木幸太	15
	ギヤボックスの故障診断	栗田泰伸，山中一真，市川智子	19
新製品紹介	シンガポール向け IE3 効率規制対応モータ		21
	BBB-H シリーズ 小型領域への対応		22

論文・報告

	IMPT 用患者 QA ツールの開発	水谷昌平，山口 喬	23
--	--------------------	-----------	----

PTC Responding to Diversifying Customer Needs

Toshiharu TANAKA

Special Issue for Power Transmission & Controls

T/PAPERS	Development of High Efficiency Asynchronous Motor by Combining Design Technique, Processing Technique and Material Utilization Technique	Osamu NAKAZAKI, Taizo YAMAMOTO	1
	Estimation of Loaded Static Transmission Error Using Vibration Measurement in Helical Gear Reducer	Toshiya NAGUMO	5
T/INVITATIONS	Development of High Precision Small Gearboxes : ECY Series	Manabu ANDOH	9
	Development of FINE CYCLO F4C-DA Series	Shun ABE	11
	Decentralized Inverter DF-520 Series	Mikio KOMATSU	13
	Development of Gearmotor Condition Monitoring System	Kota SUZUKI	15
	Failure Diagnosis of Gearbox	Yasunobu KUWADA, Kazuma YAMANAKA, Tomoko ICHIKAWA	19
NEW PRODUCTS	IE 3 Efficiency Motor for Singapore		21
	Bevel BUDDYBOX H Series Small Range		22

T / PAPERS

Development of Patient Specific QA Tool for Intensity Modulated Proton Therapy	Shohei MIZUTANI, Takashi YAMAGUCHI	23
--	------------------------------------	----

パワートランスミッション・コントロール特集の発行に当たって 多様化する顧客ニーズに応えるPTC

取締役専務執行役員
PTC事業部長

田 中 利 治



パワートランスミッション・コントロール特集号の発行に当たり、日頃より当社の変減速機事業発展に対しご支援・ご協力をいただいている皆様に心より御礼と感謝の意を表します。

動力伝達装置の歯車機構は紀元前から存在しており、長い歴史のなかで技術進化がなされ、今日に至っても技術開発に各社が競っています。当社がドイツ・サイクロ社と技術提携し、戦前の1939(昭和14)年にサイクロ減速機の国内生産をスタートしてから、今年で80周年という節目の年を迎えました。200#, 4000#, 6000#の開発とともにサイクロ減速機は性能を向上させてきました。サイクロ減速機とともに事業を拡大してきた当社のパワートランスミッション事業は、現在では、そのラインアップを数W程度の小型汎用ギヤモータから数千kW用の超大型特殊ギヤボックスまで拡大しています。また、いち早く海外展開することで、世界に通用するパワートランスミッションのグローバルメーカーとなりました。

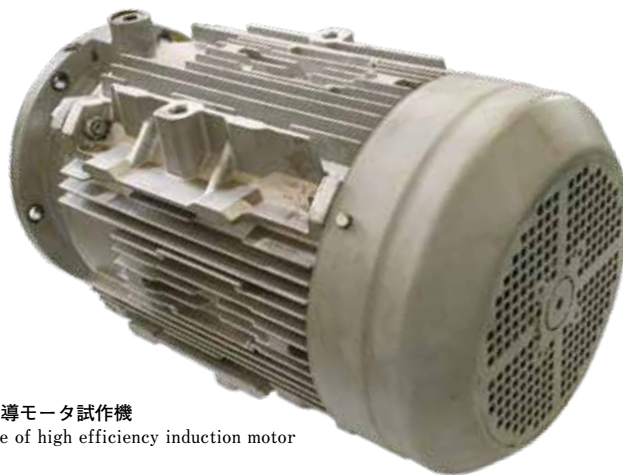
現在、私たちが直面している世界を俯瞰してみますと各国の政治的思惑、イデオロギーの対立により、世界経済は不確実で先行きが見通しにくい不透明なVUCAの時代となっています。一方、第4次産業革命と称される各種技術革新も急速に進展し、私たちの日常生活に浸透、ライフスタイルが急激に変化しています。標準品が大量生産、大量消費された時代のビジネスモデルから一変し、インターネットで飛び交う多様なニーズに素早く、きめ細かく対応できる企業が勝者となる世の中となりつつあります。このような大変革の時代に、動力源としてのモータ、制御、変減速機コンポーネントメーカーの役割は、高品質な製品を安定生産するだけでなく、社会・生活のあらゆる場面を動かし支える優れた製品を提供できるよう、幅広い製品ポートフォリオを有した商品開発の強化に取り組むことと強く感じています。

本特集号にてご紹介する論文は、当社の活動の一部を紹介するものです。精密制御用減速機、高効率モータ、故障診断技術等々、多様なニーズやさまざまなアプリケーションへのご要求に応じた製品を中心に取り上げております。対象製品、市場、地域などの広がりとともに技術開発競争はさらに強くなりますが、市場ニーズを先取りした開発を行うことで多様化する顧客ニーズに応えることを期待し、巻頭のご挨拶といたします。

製造,材料活用,設計技術の融合による高効率誘導モータの開発

Development of High Efficiency Asynchronous Motor by Combining Design Technique, Processing Technique and Material Utilization Technique

●中 崎 修* 山 本 泰 三**
Osamu NAKAZAKI Taizo YAMAMOTO



高効率誘導モータ試作機
Prototype of high efficiency induction motor

地球環境問題に対して産業用モータの高効率規制が定められてきた。現在のIE3規制に加えて、IE4およびIE5などのさらなる高効率規制が将来実施される可能性がある。このことから、多くのモータ製造メーカーは高効率モータの開発を継続して行っており、従来機の誘導モータから同期モータへ変更することで、次世代の効率クラスに対応したモータの製品化を進めている。一方、IE4に対応した誘導モータに関する技術報告は同期モータに比べ非常に少ない。当社は、高効率誘導モータに着目し、製造技術、材料活用技術、設計技術を融合させることにより、IE3モータと同等体格のIE4誘導モータの試作に成功したので紹介する。

Due to global environmental issues, high efficiency regulations have been implemented for industrial motors. In addition to the current IE3 regulations, further high efficiency regulations such as IE4 and IE5 may start in the future. Therefore, many motor manufactures continue to develop high efficiency motors, and commercialize them corresponding to the next-generation efficiency class by changing from the conventional induction motors to synchronous ones. On the other hand, there are few technical reports of IE4 induction motors. Therefore, we focused on high efficiency induction motors and succeeded in trial manufacture of IE4 motor which is same size as conventional IE3 motor by combining design technique, processing technique and material utilization technique.

1 まえがき

近年、地球温暖化などの全世界的な環境問題から、エネルギーの有効活用に対する要求が国際的に高まっている。とりわけ、電力消費全体に対する割合が大きい電動機に対してはその効率レベルがIEC規格で規定されており⁽¹⁾、効率クラスとしてIE1(標準効率)からIE5まで定められている。国内においても、IE3に準じた販売規制である通称トップランナー制度が2015年に開始した。

国内外各社が実施したIE3への対応策としては、1次銅損源である巻線抵抗値の削減、鉄損削減を目的とした電磁鋼板材料の変更や鋼板の加工応力緩和^{(2)~(6)}、自冷ファンの小型高効率化と体格の増加があげられる。次世代の効率クラス(IE4, IE5)へ向けた対応策は、前述のIE3方策の技術更新や、同期モータへの変更である^{(7)~(13)}。現段階においては、同期モータの新しい電磁材料と設計・製造技術を組み合わせた高効率化が検討されているが⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾、IE4向け高効率誘導モータに関する技術報告数は少ない。このことから、当社はIE4向けの誘導モータについての検討を行った。

誘導モータに代表される一般産業用途のモータに対しては、ラインドライブ(電源直入駆動)を要求されることや、従来機との互換性を求める声が多く寄せられる。そこで我々は、ターゲットをラインドライブ誘導モータに絞り高効率化の実現可否の検討を行った。

2 対象機種を選定と目標設定

2.1 対象機種を選定と目標設定

誘導モータの損失は、ステータコイルに電流が通電されることで発生する1次銅損、ロータ側の導体バーに電流が流れることにより発生する2次銅損、コアの磁界変動により発生する鉄損、ベアリングの摩擦やファンの風損で発生する機械損と、漂游負荷損(全損失と前記4損失の差)に分けられる。

図1に、代表的な3つの容量のモータについての損失割合を示す。出力が異なる機種では損失割合も異なっており、小容量帯では1次銅損が損失の50%以上を占め支配的であるのに対し、55kWでは1次銅損は34%となっている。したがって小容量帯では、主にステータ巻線の抵抗値の削減手段が高効率化の開発方針となる。これに比べ11kW以上の容量帯で

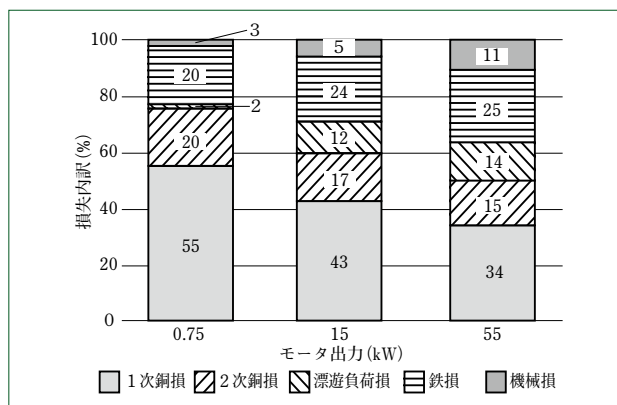


図1 当社IE3誘導モータの損失バジェット
Budget of IE3 motor losses (50Hz)

は特定の損失が支配的ではなく，高効率化するには各損失を地道に削減していくことが必要であり，全体損失の削減難易度は高い。今回は試作時の取扱いや測定を考慮して，検討対象を15kWとした。

2.2 開発目標の設定

本開発の目標設定を次に示す。

① 制約条件

- ・モータ外形：当社IE3と同等以下
- ・始動電流：当社IE3相当

② 効率目標

- ・50Hz 200V：93.9%以上
- ・60Hz 200V：94.1%以上
- ・60Hz 220V：94.1%以上

効率目標は，IE4規格値である。

式(1)～(3)に，誘導モータの等価回路から求められる1次電流 I_1 (A)を示す¹⁷⁾。

$$I_1 = \sqrt{I_{1w}^2 + I_{1l}^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$I_{1w} = I_{0w} + I_2 \times \frac{r_1 + r_2/s}{\sqrt{(r_1 + r_2/s)^2 + (x_1 + x_2)^2}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$I_{1l} = I_{0l} + I_2 \times \frac{x_1 + x_2}{\sqrt{(r_1 + r_2/s)^2 + (x_1 + x_2)^2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

I_{1w} ：1次電流の有効成分 (A)

I_{1l} ：1次電流の無効成分 (A)

I_{0w} ：無負荷励磁電流の有効成分 (A)

I_{0l} ：無負荷励磁電流の無効成分 (A)

I_2 ：2次電流 (A)

r_1 ：1次抵抗 (Ω)， r_2 ：2次抵抗 (Ω)

x_1 ：1次リアクタンス (Ω)， x_2 ：2次リアクタンス (Ω)

始動電流 I_s は，式(1)～(3)においてすべり $s=1$ を代入すれば求められる。ただし，始動電流は無負荷励磁電流に比べて非常に大きい値となることから，無負荷励磁電流は無視する。すなわち，始動電流は次の式(4)で示される。

$$I_s \cong \frac{v_1}{\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (x_1 + x_2)^2}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

高効率化を実現するには，式(4)の分母成分，特に抵抗成分を減少させる必要があり，つまりは始動電流を増加させることに等しい。始動電流の増加は，現場配線上のブレーカや配線径などの見直しが必要となることから敬遠される傾向にある。実際の設計においては，抵抗の減少分をリアクタン

表1 要素技術一覧
Elemental technologies list

要素技術	方策
材料活用技術	コア焼鈍
	フレーム焼嵌め締め代緩和
	電磁鋼板変更
製造技術	コイルの高密度化
設計技術	パラメータ最適化探索

表2 各要素技術の効率測定結果
Efficiency measurement results of each elemental technology

要素技術	項目	50Hz/200V	60Hz/200V
コア焼鈍モータ	損失削減割合 (%)	△3.0	△4.1
	効率増加分 (%)	0.2	0.3
締め代緩和モータ	損失削減割合 (%)	△0.9	△2.2
	効率増加分 (%)	0.1	0.1
低鉄損材モータ	損失削減割合 (%)	△7.0	△7.1
	効率増加分 (%)	0.5	0.5

ス成分で補うバランス設計を行うが，これには豊富な経験や知識が必要となる。詳細は後述するが，本検討ではパラメータの最適化探索設計を導入して解決を図った。

3 要素技術の目的と実施内容

各要素技術の目的と実施内容について説明する。実行手順の概略は次の通りである。まず，要素的に各技術単体の評価を行うことで，おのおのの効果を見積もる。次に，これらの効果を複合させた高効率モータ設計を行う。複合設計を行う場合は，各要素技術から得られる単純な効果だけでなく，損失の置換効果や副次的な効果も狙っている。

表1に，実施した要素技術を示す。この技術以外にも，フレーム形状の検討に代表される発熱に関する検討，機械損低減を目標としたベアリング摩擦損の低減，自冷ファンの小型化・最適化などが存在するが，今回は，モータ設計のベース技術となる磁気特性に注目した検討であることから，これらの要素技術は対象外とした。

3.1 コア焼鈍

コアを形成する電磁鋼板の歪取り焼鈍によって鉄損の改善や鉄の透磁率改善が可能となることは，古くから知られている。今回は焼鈍パターンをいくつか変更し，残留応力の測定と損失低減効果をモータ効率にて比較した。

3.2 フレーム焼嵌め締め代緩和

フレーム焼嵌めの目的は，モータの最大トルク反力印加時のコアの回転抑制が主である。設計では，焼嵌め締め代とコアフレームの摩擦力の関係を用いて保持力を計算する。実際には，この値に図面公差や温度上昇によるフレームの線膨張や製品の安全率を勘案して設計を行うのが通例である。従来の設計では，機械強度維持の観点から過剰な安全率設計を行っており，結果として締め代を高く設定していた。今回は，焼嵌め応力の構造解析を用いて適正な加圧力を求め，最低限必要な締め代へ変更し，このときの損失低減効果をモータ効率にて比較を行った。

3.3 電磁鋼板変更

電磁鋼板の応力-磁気特性変化は，材料によって大きく異なる。このことから，対象の電磁鋼板の応力-磁気特性を取得し，設計ツールの材料データベースへフィードバックした。

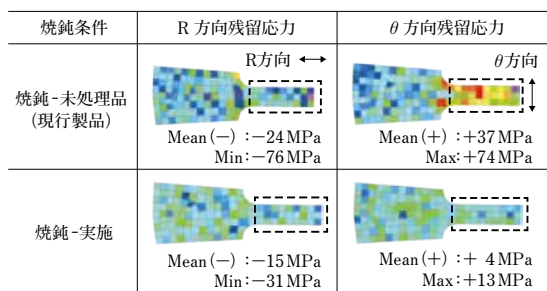


図2 電磁鋼板の残留応力測定結果
Results of remaining stress in iron core plate

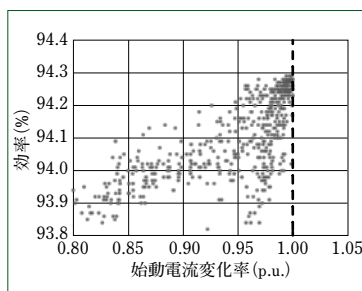


図3 最適化設計の一例
Example of optimization design

表3 試作機の効率測定結果
Measured efficiency results of prototype

	現行IE3 (カタログ値) (%)	試作機		
		目標値 (%)	設計値 (%)	実測値 (%)
50Hz/200V	92.4	93.9	94.2	94.3
60Hz/200V	93.0	94.1	94.1	94.2
60Hz/220V	93.4	94.1	94.6	94.6

また、この電磁鋼板を用いたモータを製作し、効率改善効果も測定した。

3.4 コイルの高密度化

コイルの高密度化は、銅の占積率の改善とコイルエンドの短縮化である。銅の占積率向上は1次銅損低減だけでなく、スロット面積の減少によるステータコア幅の増加も可能であり、ティースの磁束密度低減による透磁率改善や鉄損低減の効果も期待できる。

コイルエンドの短縮化は、1次銅損の低減だけでなく、モータ軸方向の長さ短縮効果も得られ、デッドスペースの削減につながる。これにより、有限体積内のコア占有率を高めることが可能となり、コアの磁束密度の低下のほか1次、2次銅損および鉄損の改善効果も期待できる。しかしながら、コイルの高密度化は作業者の技術熟練度に依存することが多く、過度な高密度化はモータの生産台数の制限や品質の不安定化を引き起こしかねない。したがって、今回は高密度化を図りながらも、技術難易度が比較的低い巻線工法の開発を行った。

3.5 パラメータ最適化探索

各要素技術の結果を鑑み、採用する技術を選定した。これらの効果を等価回路法へ取り込み、等価回路計算ツールと市販の最適化探索ソフトを紐付け、パラメータの最適化探索を実施した。

4 要素技術検証の結果

表2に、コア焼鈍、フレーム焼嵌め締め代緩和、電磁材料変更のモータ損失および効率の試作評価結果を示す。

4.1 コア焼鈍の効果

図2に、コア焼鈍の有無による電磁鋼板の応力測定結果を示す。焼鈍により、ステータティース部のR方向の圧縮応力が76MPaから31MPaへと大きく低減し、効率は0.2~0.3%向上した。

4.2 フレーム焼嵌め締め代緩和の効果

今回は安全率を見直し、締め代をおよそ1/3として試作機を製作した。これにより、ステータコアバックのθ方向の圧縮応力は30MPaから20MPaへ減少し、効率として0.1%向上することが判明した。

4.3 電磁鋼板変更の効果

電磁鋼板を低鉄損材に変更することにより、効率が約0.5%向上することが判明した。

4.4 コイルの高密度化結果

今回開発したコイル製造技術は、従来機(IE3)に比べ、スロット内の銅の占積率を11%増加させ、コイルエンド高さを

35%削減しつつも、作業時間(コイル巻取りと挿入の合計時間)は7%の微増であった。

4.5 パラメータ最適化探索結果

各要素技術の効果を設計条件へ反映した。使用したソフトは、Siemens PLMソフトウェア社のHEEDSである。変更したパラメータは、1次、2次側のスロット形状およびステータ内外径比、巻線数などである。制約条件は、始動電流、銅占積率、ギャップ長、コイルエンドを含むモータ軸長とし、目的関数は効率に設定した。

図3に、最適化した場合の始動電流と効率の関係の一例を示す。破線値は、制約条件として与えている始動電流変化率のラインである。最適化探索後、最適解付近のパラメータを選択し、その後実現性が高いと思われる形状へ修正を行い、試作機の形状を決定した。

4.6 試作機の設計方針

表3に、試作機の効率測定結果を示す。設計では、おおむね目標をクリアしている。なお、コアの焼鈍に関しては、今回の試作では不採用とした。今回はコア重量を増加させることで、磁束密度の低下も図っている。これは単純な鉄損低下の効果だけではなく、低鉄損材料を使用した際の副次的な効果を狙っている。今回は磁束密度を低下させることで、低鉄損材の透磁率変化を緩和する設計方針としている。

5 試作機評価結果

設計した試作機の測定結果について説明する。表3に、現行IE3(カタログ値)と試作機の目標値、設計値、実測値を示す。また、図4に効率測定結果、図5に各損失成分の測定結果、表4に現行IE3と試作機の始動電流測定結果の変化割合を示す。表3、表4、図4に示すとおり、国内3定格と呼ばれる3条件においてIE4効率達成と始動電流の不変の両立を確認した。また、設計と実測の整合性は非常に高い。試作機は現行IE3と同じ外形のフレームおよびフランジを用いており、モータ外形としても不変である。

図5より、おおむね目標としてきた損失の削減は得られているが、漂游負荷損のみ増加の傾向が見られた。これは、モータの特性計算に等価回路法を用いたことで高調波損失を考慮せずに最適化設計を実行した結果と推測する。特に今回は、スロット形状も設計変更したことにより、高調波成分が従来機より増加した可能性が高い。最適化探索後の修正設計時にFEMなどによる空間分解の高いモデルにて計算を行う方法や、あらかじめ高調波損失の要因である寸法パラメータを最適化の制約条件とすることで、この現象の改善または、さら

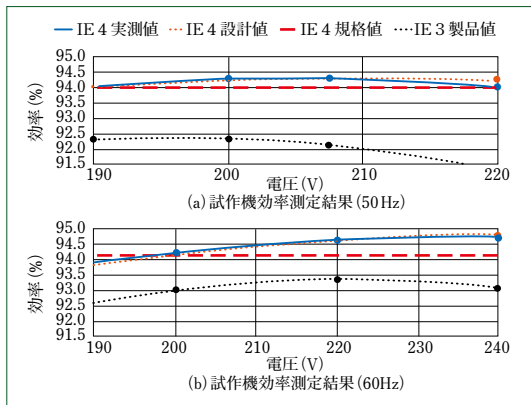


図4 試作機の効率測定結果
Measured efficiency results of prototype

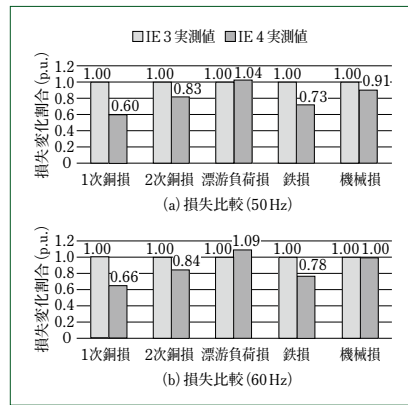


図5 試作機の損失比較
Loss comparison between conventional motor and prototype

表4 始動電流測定結果の変化割合
Measured starting current results

	現行機	試作機
50Hz/200 V	1.0	1.03
60Hz/200 V	1.0	1.04
60Hz/220 V	1.0	1.03

なる高効率化も可能であると考えている。

6 むすび

本報では、誘導モータの製造技術、材料活用技術、設計技術を融合することで、従来機種との互換性を有したモータの高効率化開発の事例を紹介した。

- (1) 誘導モータの各要素技術の単体評価を行い、おのこの技術の効率改善効果を試作機にて確認した。
- (2) 各要素技術の効果を複合させた高効率モータ設計を行い、IE 3 モータと同等体格および同等始動電流にてIE 4 規格効率の達成を確認した。
- (3) 今後は他容量への展開や、いまだ取り入れていない要素技術の取込み、1 次元等価回路設計の欠点である高調波計算への対応などを行い、さらなる誘導モータの高効率化を図っていく予定である。

産業用誘導モータは容量ごとに損失の割合が異なり、おのこの機種で損失低減方策の重要度が異なることから、特定の技術だけでは全体機種の高効率化は困難である。したがって、各要素技術個別の探求を基盤として、これら技術を包括的に取り込み、設計、生産へ反映する技術が非常に重要であると考えられる。それには、自社内での継続的な製造技術改善、材料動向、材料活用技術、設計ツール動向など、多方面の技術に対し、広く目を向け続ける必要がある。

最後に、本開発は工場の現場関係者、技術研究所の協力により実現した成果であることを付け加え、結びとする。

(参考文献)

- (1) Rotating electrical machines -Part 30-1:Efficiency classes of line operated AC motors (IE code), IEC60034-30-1 (2014).
- (2) 館憲弘, 富士電機のトッランナーモータープレミアム効率モータ MLU/MLK シリーズ, 富士電機技報, vol.86, no.4 (2013).
- (3) K.Yamamoto, E.Shimomura, K.Yamada, T.Sasaki, Effects of External Stress on Magnetic Properties in Motor Cores, T.IEEJ, Vol.117-A, No.3, pp.311-316 (1997) (in Japanese).
山本健一, 下村英二, 山田一夫, 佐々木堂, 電動機鉄心の磁気特性に及ぼす外部応力の効果, 電学論 A, Vol.117, No.3, pp.311-316 (1997).
- (4) Y.Tani, A.Daikoku, H.Arita, N.Nakano, S.Yamaguchi, Y.Toide, T.Yoshioka, C.Fujino, Measurement of magnetic characteristic under stress of magnetic steel sheets, The Papers of Technical Meeting on Magnetism, IEE Japan, MAG-03-191 (2003) (in Japanese).
谷良浩, 大穀晃裕, 有田秀哲, 中野正嗣, 山口信一, 都出結花利, 吉岡孝, 藤野千代, 電磁鋼板の応力化における磁気特性の測定, 電気学会マグネテ

イクス研資, MAG-03-191 (2003).

- (5) 榎園正人, ベクトル磁気特性技術と設計法, 科学情報出版 (2015).
- (6) 岡茂八郎, 誘導機ステータコアへの励磁用内挿コアを用いたビルディングファクター評価法の適用, 日本AEM学会誌, Vol.26, No.3, pp.454-459 (2018).
- (7) W.R.Finley, M.M. Hodowanec, Selection of copper vs. aluminum rotors for induction motors, IEEE Trans. Ind. Appl., pp.1563-1573 (2001).
- (8) Siemens AG, SIMOTICS GP, SD, XP, DP Low-Voltage Motors, Siemens AG Catalog, D81.1, Edition 05/2018 (2018).
- (9) Anibal.T.de Almeida, Fernando.J.T.E.Ferreira, Ge.Baoming, Beyond Induction Motors-Technology Trends to Move Up Efficiency, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.50, Issue.3, pp.2103-2114 (2014).
- (10) ABB, Low voltage IE4 synchronous reluctance motors, ABB Catalog (2016).
- (11) H.Amano, Y.Enomoto, M.Ito, H.Itabashi, R.Masaki, Examination of Applying Amorphous Rolled Core to Permanent Magnet Synchronous Motors, IEEJ Trans. IA, Vol. 130, No. 5, pp. 632-638 (2010) (in Japanese).
天野寿人, 榎本裕治, 伊藤元哉, 板橋弘光, 谷川茂穂, 正木良三, アモルファス巻き鉄心の永久磁石モータへの適用検討, 電学論D, 130, No.5, pp. 632-638 (2010).
- (12) 竹内活徳, 松下真琴, 橋場豊, 高効率の同期リラクタンスモータ, 東芝レビュー, vol.70, no.5, pp.20-23 (2015).
- (13) D.Misu, K.Takeuchi, Study of eddy current loss due to motor core end structure, The Papers of Joint Technical Meeting on Static Apparatus and Rotating Machinery, IEE Japan, SA-17-78 and RM-17-107, pp.65-69 (2017) (in Japanese).
三須大輔, 竹内活徳, モータ端構造に起因する渦電流損失の検討～固定子鉄心端の鉄心押え板に生じる渦電流損失に関する基礎検討～, 静止器 回転機合同研資, SA-17-78 RM-17-107, pp.65-69 (2017).
- (14) M.Satoh, S.Kaneko, M.Tomita, S.Doki, and S.Okuma, Stator shape improvement to decrease iron loss caused by shrink fit. utilizing physical properties of electrical steel sheet, IEEJ Trans. IA, Vol.127, No. 1, pp. 60-88 (2007-1) (in Japanese).
佐藤光彦, 金子清一, 富田睦雄, 道木慎二, 大熊繁, 焼入れによる損失を低減するための電磁鋼板の特性を用いた固定子形状の改善, 電学論D, Vol.127, No.1, pp. 60-68 (2007-1).
- (15) 西川幸男, 小島徹, 瀬川彰継, 谷本健司, 小川登史, 金城賢治, 超低鉄損軟磁性体を用いた高効率モータ, Panasonic Technical Journal, Vol.62, No.2 (2016).
- (16) T.Kinoshita, K.Moritani, X-ray residual stress measurement of punching electromagnetic steel sheets, The Papers of Technical Meeting on Magnetism, IEE Japan, MAG-14-12 (2014) (in Japanese).
木下創, 守谷幸次, X線残留応力測定による打抜き鉄心の応力評価, 電気学会マグネティクス研資, MAG-14-12 (2014).
- (17) 坪島茂彦, 誘導電動機, 東京電機大学出版, pp.90-100 (1979).

振動計測によるはすば歯車減速機のかみ合い伝達誤差の推定

Estimation of Loaded Static Transmission Error Using Vibration Measurement in Helical Gear Reducer

●南 雲 稔 也*
Toshiya NAGUMO

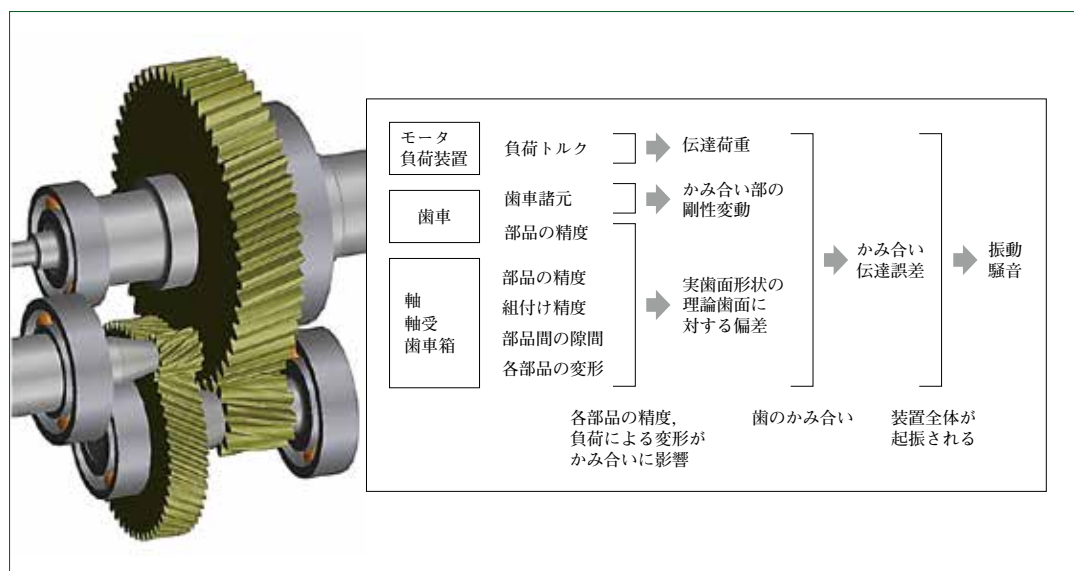


図1 歯車のかみ合い伝達誤差およびその要因と振動・騒音
Causes of gear noise and vibration

運転条件下の振動計測によるかみ合い伝達誤差の推定手法を2段減速のはすば歯車減速機に適用した。この手法は、歯車に起因する装置の振動が、かみ合い伝達誤差と周波数応答関数により決まることをもとにしている。かみ合い伝達誤差は、周波数領域で周波数応答関数と計測された振動との比により算出される。周波数応答関数は、計測された周波数応答特性と振動モデルの数値解析による周波数応答関数とを連続的に接続することで求められる。かみ合い伝達誤差の推定結果は、ロータリエンコーダにより直接計測された結果と比較された。本研究の推定手法は、減速機内部のそれぞれのギヤに起因するかみ合い伝達誤差を正確に評価できることを明らかにした。

In this study, an estimation method of the loaded static transmission error (STE) waveform by vibration measurement under operating conditions was applied to a two-stage helical gear reducer. This method is based on the understanding that vibration is determined by the loaded STE and frequency response function (FRF). The loaded STE is calculated as the ratio of the measured vibration to the FRF in the frequency domain. The FRF is derived from continuously combining the measured frequency response curve with the calculated FRF using a dynamic model. Estimated loaded STE was compared with direct measurement results using rotary encoders. Our findings confirmed that our proposed method can accurately estimate the loaded STE attributed to each gear in the gearbox.

1 まえがき

トルク密度(トルク/重量)の向上は、産業用の歯車減速機において基本的な技術課題の一つである。重量を減らすには減速機各部の薄肉化が要求されるが、それにより剛性が低下しやすく振動・騒音が増大し、静粛性の悪化につながるというリスクがある。これらの性能を両立させるには振動・騒音の発生源である歯車のかみ合い起振力を小さく抑えることが重要である。

かみ合い起振力の評価指標として、かみ合い伝達誤差がよく用いられている⁽¹⁾。これは、一定のトルクかつ準静的な回

転速度で運転している状態での駆動歯車に対する被動歯車の相対回転遅れの周期的変動の波形として表される。図1に、歯車のかみ合い伝達誤差およびその要因と振動・騒音を示す。歯車の諸元や伝達トルクに加えて実機運転時における各部の精度や隙間、負荷による歪みといった要因が μm 単位でかみ合い伝達誤差に影響を与える。

これらの要因は設計時に考慮されるが、減速機が実際に運転しているときの状態を μm 単位ですべて予測することは困難である。このことから、実機でのかみ合い伝達誤差はあまり詳細には把握できないものであり、これが起振力の低減に対する課題と言える。

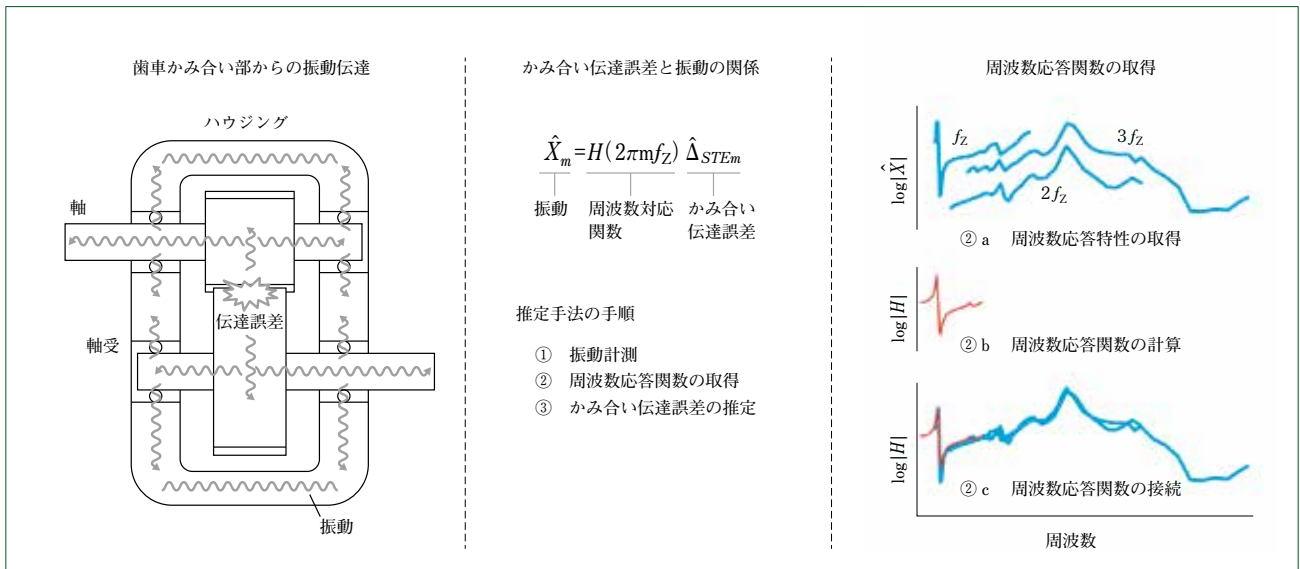


図2 振動計測によるかみ合い伝達誤差の推定
Loaded STE estimation by vibration measurement

この課題に対して、我々は運転条件下の振動計測によるかみ合い伝達誤差の推定手法を提案している⁽²⁾。専用の試験機を必要とする負荷かみ合い伝達誤差の計測に比べて、運転条件下での加速度ピックアップを用いた振動計測は簡単に実施できるという利点がある。本研究では、産業用の減速機として代表的な構造である2段減速のはすば歯車減速機に対して提案した推定手法を適用し、得られた結果に対して検証を行った。

2 かみ合い伝達誤差の推定手法⁽²⁾

2.1 歯のかみ合いに起因する振動のモデル

起振力の指標となる負荷時のかみ合い伝達誤差 $\Delta_{STE}(t)$ は、式(1)で表される。

$$\Delta_{STE}(t) = \frac{W + F(t)}{k(t)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 W は伝達荷重、 $F(t)$ は相対歯面偏差による起振力、 $k(t)$ はかみ合い剛性を表す。

比較的高い精度で加工された動力伝達用はすば歯車の負荷運転時の振動を想定すれば、振動モデルを線形時不変系として扱うことができる。これにより、歯のかみ合いに起因する成分について周波数領域で振幅と位相からなる複素振幅を用いて表せば、振動 $\hat{X}_m$ 、かみ合い伝達誤差 $\hat{\Delta}_{STEM}$ 、周波数応答関数 $H(\omega)$ の関係は式(2)で表される。

$$\begin{aligned} \hat{X}_m &= H(2\pi m f_Z) \hat{\Delta}_{STEM} \\ \log |\hat{X}_m| &= \log |H(2\pi m f_Z)| + \log |\hat{\Delta}_{STEM}| \quad \dots\dots\dots (2) \\ \arg \hat{X}_m &= \arg H(2\pi m f_Z) + \arg \hat{\Delta}_{STEM} \end{aligned}$$

2.2 推定の手順

本推定手法は次に示す①～③のステップにより構成される。

- ① 振動 X の計測
- ② 周波数応答関数 $H(\omega)$ の取得
- ③ かみ合い伝達誤差 Δ_{STE} の推定

本推定手法は、振動 X がかみ合い伝達誤差 Δ_{STE} と周波数応答関数 $H(\omega)$ の積により表されるという式(2)の関係をもとに、減速機の運転時に計測した振動からかみ合い伝達誤差を推定する。しかしそれには、かみ合い部から振動計測点までの周波数応答関数 $H(\omega)$ を取得する必要がある。本手法では次に記す②a～②cまでのステップにより周波数応答関数 $H(\omega)$ を取得する。

②a 周波数応答特性の取得

式(1)に示したように、かみ合い伝達誤差 $\Delta_{STE}(t)$ はかみ合い剛性 $k(t)$ 、相対歯面偏差による起振力 $F(t)$ および伝達荷重 W を含むが、これらは回転速度の影響を受けない変数である。このことからかみ合い伝達誤差の複素振幅 $\hat{\Delta}_{STEM}$ は、負荷トルクが一定であれば回転速度を変化させても複素数の定数とみなすことができる。したがって、負荷トルクを一定に保持しながら回転速度をスweepさせたときの振動を計測し、計測結果からかみ合い整数次成分 $\hat{X}_m$ を取り出して周波数に対して表示すれば、周波数応答関数の形を表す曲線が得られる。図2-②aに、振動計測結果から取り出したかみ合い整数次成分の例を示す。しかしこれだけでは起振源である $\hat{\Delta}_{STEM}$ との間の校正ができていないので、本手法ではこれらを周波数応答特性と呼ぶことにしている。

②b 周波数応答関数の計算

図2-②aの周波数応答特性から周波数応答関数 $H(\omega)$ を求めるためには、起振源を基準にして校正を行う必要がある。しかし、本手法ではかみ合い伝達誤差 $\hat{\Delta}_{STEM}$ が推定対象となっている。これにより起振源が未知であるので、起振源の信号を基準に用いることで周波数応答関数を校正するという振動実験で通常行われる方法を使うことができない。

そこで、数値解析により周波数応答関数を計算し、その結果をもとに校正を行う。数値解析で計算する周波数の範囲は、振動計測結果から得られる周波数応答特性の一部と重複して代表的な共振峰が含まれていればよく、

表1 歯車の諸元
Gear parameters

	高速段		低速段	
	ピニオン	ギヤ	ピニオン	ギヤ
モジュール(mm)	1.75		3.00	
圧力角(°)	20		20	
歯数	9	52	10	50
ねじれ角(°), 向き	30, LH	30, RH	15, RH	15, LH
歯先円直径(mm)	22.3	107.6	38.7	161.1
歯幅(mm)	22	20	35	33
中心距離(mm)	61.5		94.0	
かみ合い率	3.03		2.26	

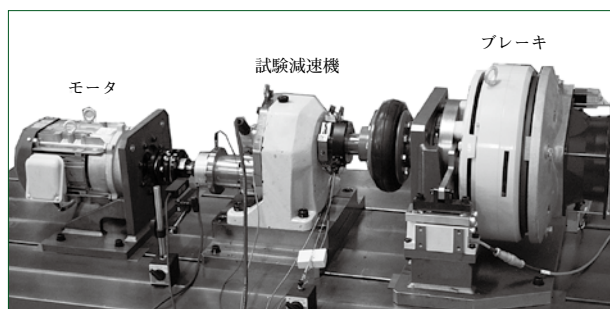


図3 実験装置
Test rig

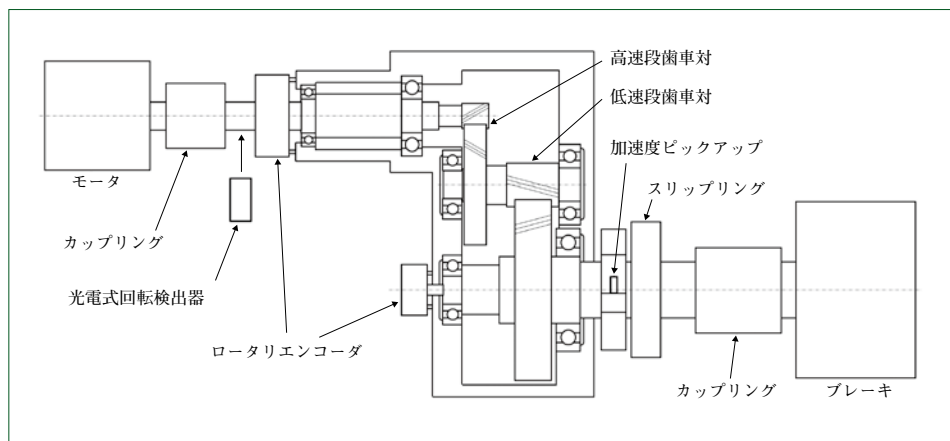


図4 実験装置の模式図
Schematic diagram of test rig

したがって低次の振動モードが現れる低い周波数の範囲に限定できる。これにより解析精度の悪化を避けることができ、また比較的小規模の振動モデルを使用できる。

図2-②bに、周波数応答関数の計算結果の例を示す。

周波数応答関数の数値解析では、線形時不変系の多自由度運動方程式で減速機を含む振動系を表し、かみ合い部に単位振幅の正弦波による強制変位を入力して振動計測点における応答を計算する。

質量行列と剛性行列は、部分構造合成法により歯車箱の有限要素モデルと回転軸系の集中質量モデルを合成して作成する。歯車かみ合い部、軸受、カップリングなどの接触部や結合部を含む伝動機構の剛性は、運転中の実機における詳しい値の予測は困難である。そこでこれらに対しては、数値解析による周波数応答関数が振動計測結果から得られる周波数応答特性に最も適合するように最適化することでパラメータの詳しい値を決める。減衰行列には比例減衰を採用し、伝動機構の剛性と同様にパラメータ最適化によって値を決める。

②c 周波数応答関数の接続

数値解析による周波数応答関数を基準にして、振動計測結果から取り出した周波数応答特性を縦軸方向に位置調節し振幅のレベルを合わせる。その後これらを連続的に接続すれば、図2-②cに示すように周波数応答関数の振幅 $|H(\omega)|$ を取得できる。図2では、振幅についてのみ示しているが、位相についても同様の手順を行う。ここで振幅と位相のそれぞれについて、振動のかみ

合い整数次成分のレベルを調節するという操作は、かみ合い整数次成分の複素振幅に複素数の定数を積算することに対応している。

3 実験方法

3.1 実験装置

本研究で使用した2段減速のはすば歯車減速機は、一般の汎用減速機として広く用いられている構造を模擬して製作されたものである。表1に、内部の歯車の基本諸元を示す。

図3に実験装置、図4に模式図を示す。実験装置は、試験減速機を駆動する三相誘導モータ、前記試験減速機、前記試験減速機に負荷を与えるパウダーブレーキ、負荷運転中の振動を計測する振動計測系、準静的条件において入力軸と出力軸の回転角度からかみ合い伝達誤差を直接計測するかみ合い伝達誤差計測系を備えている。

3.2 振動計測系

振動計測系は、入力軸の回転を検出する光電式回転検出器、出力軸のねじり振動を検出する加速度ピックアップ、加速度ピックアップからの信号を取り出すスリッピング、光電式回転検出器および加速度ピックアップの出力を同時に記録するデータロガー、記録された出力データを解析する計算装置を備えている。

出力軸のねじり振動については、分割フランジを介して接線方向に取り付けられた2つの加速度ピックアップを用いて、これらの出力信号を加算することで半径方向の振動が打ち消されて回転方向の振動を検出している。

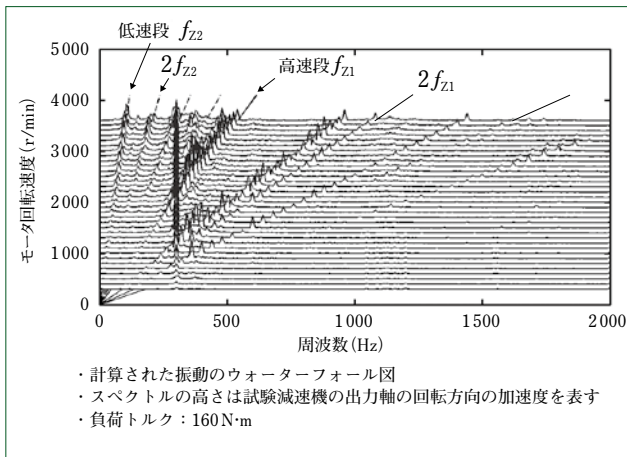


図5 ねじり振動の計測結果のウォーターフォール図
Waterfall plot of torsional vibration measurement results

本実験では、計測した振動信号に対し、各歯車に起因する振動を正確に分析すべく同期平均³⁾を適用した。また、入力軸の回転検出器によるトリガ信号を使用して、各歯車対の歯数比をもとに中間軸と出力軸に対応するトリガ信号を仮想的に生成し、これらを用いて各歯車に起因する信号を分析した。

3.3 かみ合い伝達誤差計測系

かみ合い伝達誤差計測系は、入力軸および出力軸の回転角度をそれぞれ検出する2つのロータリエンコーダ、ロータリエンコーダからの出力を同時に記録するデータロガー、記録された出力パルスのデータを解析してかみ合い伝達誤差を計算する計算装置を備えている。

4 結果と考察

4.1 振動計測結果

負荷トルクは、80 N・mから320 N・mまでの間で4段階のレベルに設定した。図5に、負荷トルク160 N・mでのねじり振動計測結果をウォーターフォール図で示す。各スペクトルの高さは、試験減速機の出力軸における接線方向加速度の振幅を表示している。歯車のかみ合い周波数成分(f_z)およびその高調波($2f_z$, $3f_z$)が斜めの実線(高速段歯車対)と破線(低速段歯車対)によって示されている。ここでは振動が比較的大きい高速段歯車対に着目する。

4.2 かみ合い伝達誤差の推定結果

提案手法を振動計測結果に適用し、高速段歯車に起因するかみ合い伝達誤差を推定した。一方でロータリエンコーダを用いて準静的条件でのかみ合い伝達誤差を直接計測した。図6に、推定されたかみ合い伝達誤差と直接計測の結果の比較を示す。横軸の区間は各歯車の1回転分の長さとして、ピニオンとギヤで1かみ合い分の長さをそろえて表示している。

図6を見ると、直接計測したかみ合い伝達誤差と提案した手法による振動からの推定結果は、極めて良い一致を示している。これにより、我々の提案している手法は、実際の歯車減速機に対してかみ合い伝達誤差を μm 単位でかなり精度良く推定できることを確認した。また、各減速段の個々の歯車に起因する成分を切り分け、1歯ごとのばらつきまでを含めたかみ合い伝達誤差の評価が可能であることも確認した。

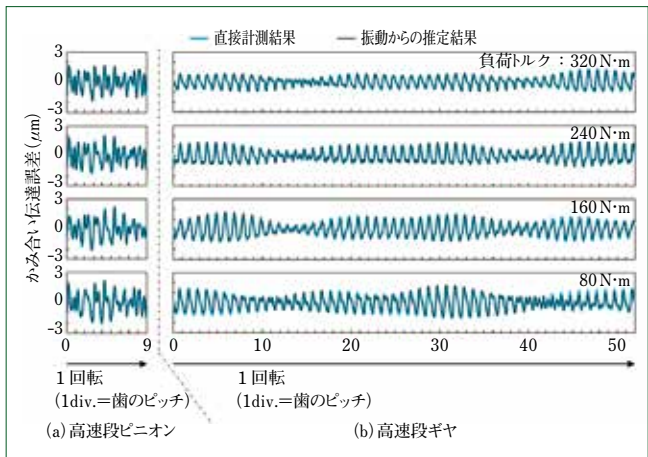


図6 かみ合い伝達誤差の推定結果と直接計測結果
Estimated and measured results of the loaded STE

5 むすび

- (1) 産業用の減速機として代表的な構造である2段減速のはすば歯車減速機に対して、振動計測によるかみ合い伝達誤差の推定手法を適用し、得られた結果に対して検証を行った。
- (2) 本推定手法は、多段減速の減速機であっても振動成分の周波数をもとに各成分を分離することで、個々の歯車ごとに切り分けてかみ合い伝達誤差を評価できることを確認した。
- (3) 本手法による推定結果は、ロータリエンコーダにより直接計測した結果とほぼ一致し、かみ合い伝達誤差を μm 単位で正確に推定できることを確認した。

本研究を行うに当たり、ご指導いただいた東京工業大学 北條春夫名誉教授、東京工業大学未来産業技術研究所 松村茂樹准教授に心より感謝申し上げます。

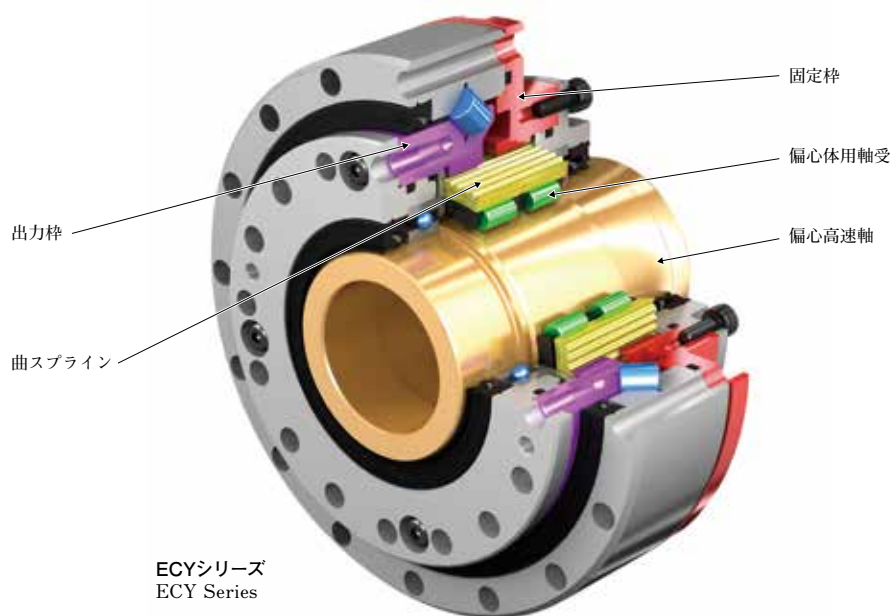
(参考文献)

- (1) 吉川和男, 谷裕文, 樽谷一郎, 鈴木章, 牧泰希, 上田泰史, はすば歯車のかみあい伝達誤差の計測と解析法の改良, 日本機械学会論文集 C編, Vol.63, No.609 (1997), pp.1775-1782.
- (2) 南雲稔也, 松村茂樹, 北條春夫, 運転条件下の振動計測によるはすば歯車のかみ合い伝達誤差の推定, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.844 (2016), p.16-00429.
- (3) Houjoh, H., Ratanasumawong, C. and Matsumura, S., Utilization of synchronous averaging for inspection of tooth surface undulations on gears (localization of nonmesh harmonic components to individual gear), Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics, Vol.74, No.2 (2007), pp.269-278.

精密小型減速機 ECYシリーズの開発

Development of High Precision Small Gearboxes : ECY Series

● 安 藤 学*
Manabu ANDOH



ECYシリーズ
ECY Series

1 はじめに

近年、人手不足や製品品質の安定化などを目的とした工場の自動化のニーズが増加しており、それに伴い産業用ロボットの需要が急増している。なかでも小型ロボットの需要増加は目覚ましく、人の代替作業を行う組立て搬送ロボットや、人と同じ空間で作業を行う協働ロボットは、今後も継続的な需要増加が予想される⁽¹⁾。

これらの用途で使用される減速機に対しては、より小さな質量・体積でより大きなトルクを伝達するコンパクト化への要求が高い。また、精密制御用として、高い回転精度と剛性が求められることは言うまでもない。

当社のロボット用精密減速機事業においても、これらの市場要求に対応すべくECYシリーズを開発した。ECYシリーズは、当社の精密制御用サイクロ減速機で培った設計技術を撓みかみ合い式歯車装置に適用した新しい構造の減速機である。

本報ではECYシリーズの特徴について解説する。

2 構造

図1に、ECYシリーズの構造を示す。本シリーズは、楕円状の偏心高速軸が偏心体用軸受を介して薄肉の外歯車(曲スプライン)を撓み変形させることで内歯車(固定枠、出力軸)とのかみ合いを行う、撓みかみ合い式歯車機構である。

サーボモータなどからの入力回転は偏心高速軸に入力され、内部の減速機構によって減速された回転は、出力軸から

取り出されロボットの先端側の部材などに伝達される。

偏心高速軸は入力回転を支持する高速軸軸受を備え、出力軸は出力部材を支持するクロスロー軸受を備えている。また、入出力軸にオイルシールを備えた密閉構造となっており、ロボット関節部へ容易に組み込むことができる。

さらに本シリーズは中空貫通構造となっており、コネクタやケーブル類を容易に通すことができるという面でも、組込み性に非常に優れていると言える。

3 作動原理

図2に、ECYシリーズの基本減速部と作動原理を示す。

基本減速部は、偏心体用軸受ユニット、曲スプライン、固定枠および出力軸の4つの部品により構成される。

作動原理を説明する。

- ・楕円状に撓められた偏心体用軸受ユニットを曲スプラインへ挿入することで、曲スプラインを楕円状に変形させる。
- ・楕円状に変形した曲スプラインは、その長軸部近傍で固定枠および出力軸の内歯車と噛み合う。
- ・固定枠を固定した状態で偏心体用軸受ユニットが時計方向に1回転すると、曲スプラインを弾性変形させながら長軸が1回転する。このとき曲スプラインと固定枠には歯数差があり、歯数差分だけ曲スプラインが半時計方向に回転する。つまり入力回転に対して曲スプラインが歯数差分だけ逆方向に減速回転したことになる。
- ・同時に曲スプラインは出力軸とも噛み合う。曲スプライン

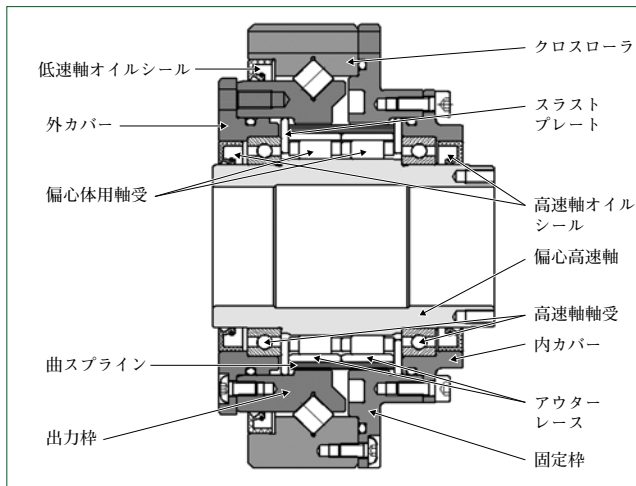


図1 ECYシリーズ構造図
Construction of ECY series

表1 主要仕様
Major specifications

形式	ECY103			ECY105			ECY107		
減速比	50	80	100	50	80	100	50	80	100
ロストモーション (arcmin)	1 arcmin 以内								
定格トルク (N・m) (入力 2000r/min 時)	16	22	24	25	34	40	39	63	67
許容ピークトルク (N・m)	34	43	54	56	74	82	98	137	157
中空径 (mm)	19			21			25.5		
減速機外径 (mm)	74			84			95		

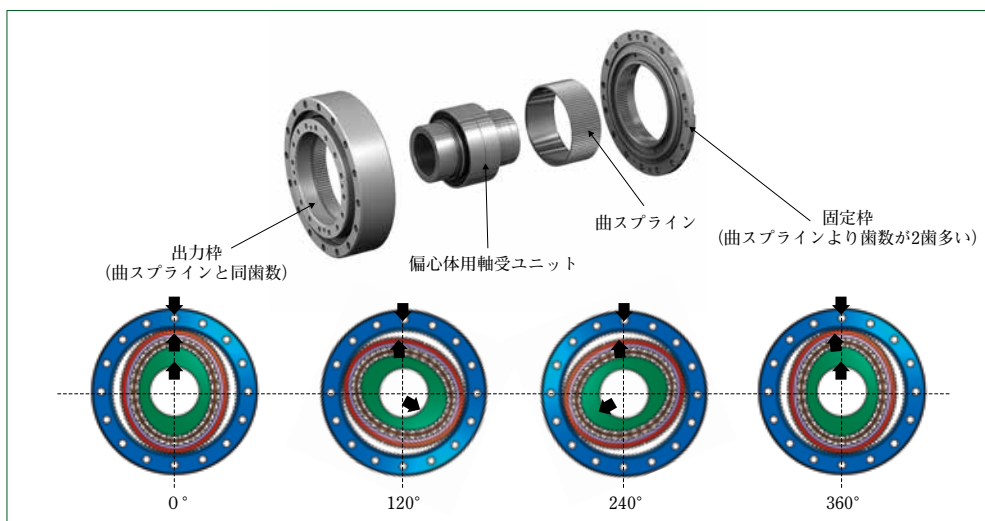


図2 基本減速部と作動原理
Basic structure & operating principle

ンと出力枠には歯数差がないことから、曲スプラインの減速された回転が同じ速度で出力枠に伝達(取出し)される。

4 特徴

曲スプラインは外周に外歯車を有した円筒部材であり、楕円の長軸近傍で固定枠および出力枠と同時にかみ合う。このことから、曲スプラインには軸方向に2列分の外歯車が形成されている必要があり、2列分の歯形形状は部品製作上の制約から同一の形状であることが望ましい。この制約に対して本シリーズでは、当社において設計ノウハウの豊富なエピトロコイド平行曲線を曲スプラインの歯形形状に採用した。これにより単一の歯形形状である外歯車と歯数の異なる固定枠および出力枠とをかみ合わせる際に、同時かみ合い率の высокаяかみ合いが可能となり、高トルク・高位置決め精度を実現している。

また、従来の精密位置決め用の撓みかみ合い式歯車では、薄肉の外歯車の外観形状にカップ型やシルクハット型が用いられるが、本シリーズでは上記歯形の採用により、単純な円筒形状を用いることが可能となった。これにより撓みかみ合

い式歯車のウイークポイントである曲スプラインの高強度化・高剛性化に加え、偏心体用軸受にコロ軸受を採用することで高負荷容量化・高剛性化を実現している。

5 主要仕様

表1に主要仕様を示す。

6 おわりに

- (1) 小型ロボット向け減速機としてECYシリーズを開発した。
- (2) 独自の歯形形状および構造を採用することで、業界最高レベルの高トルク化、コンパクト化を達成した。
 - ・許容ピークトルク 34～157 N・m
 - ・中空径 19～25.5 mm
 - ・減速機外径 74～95 mm

(参考文献)

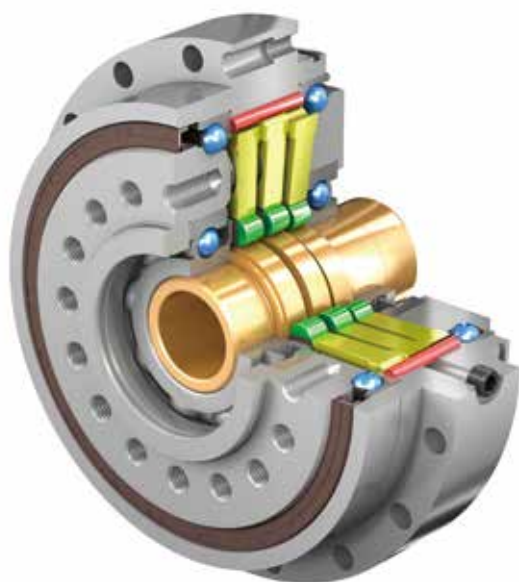
- (1) 富士経済, 2018ワールドワイドロボット関連市場の現状と将来展望。

※「サイクロ」および「サイクロ減速機」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

精密制御用サイクロ減速機 F4C-DAシリーズの開発

Development of FINE CYCLO F4C-DA Series

● 阿 部 瞬*
Shun ABE



F4C-DAシリーズ
F4C-DA Series

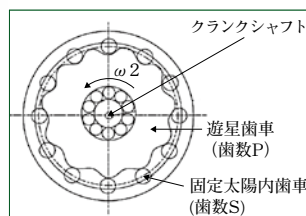


図1 内接式遊星歯車の機構
Internal planetary gearing

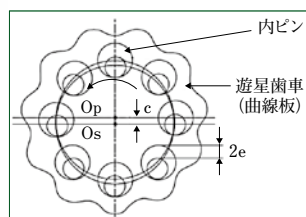


図2 等速度内歯車の機構
Constant speed internal gearing

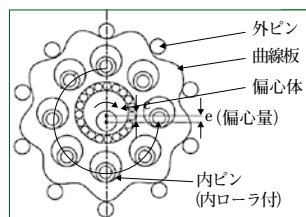


図3 サイクロ減速機の機構
Structure of CYCLO DRIVE

1 はじめに

日本国内における労働人口の減少および世界的な人件費の高騰を背景に、産業用ロボットによる作業自動化の波は広がりを見せている。産業用ロボットは、これまで自動車や電子機械といった限られた分野でしか活用されてこなかったが、今後はこれまで普及が進まなかった分野での活用も期待され、より一層の成長が見込まれる。ロボットが普及していくうえで、重要な要素となるのがコンパクト化である。ロボットのコンパクト化には、減速機のコンパクト化(高トルク密度化)が重要な役割を果たす。

当社は、ロボット用減速機として精密制御用サイクロ減速機を市場投入しているが、そのなかでもDシリーズは当社の主力機種である。Dシリーズは1段減速機構であり、コンパクトなサイズ(高トルク密度)を強みとしている。さらにDシリーズは、出力側フランジの取合い自由度の高さから顧客が装置の設計をしやすいく、入力軸が減速機内部で支持されているのでモータ連結が容易であることなど、使いやすさを特長としており、市場で好評を得ている。

今回、従来のDシリーズの使いやすさを維持したまま、トルク密度をさらに向上させたDAシリーズを新たに開発した。

本報では、DAシリーズの開発技術および製品の特長について報告する。

2 基本減速機構

精密制御用サイクロ減速機は、次の機構を有する⁽¹⁾⁽²⁾。

- (1) 内歯車に円弧歯形を、遊星歯車にはエビトロコイド平行曲線を採用しており、歯先干渉がなく多数の同時かみ合いを持つ内接式遊星歯車機構である(図1)。
- (2) 高速で公転しながら、同時に低速で自転している遊星歯車の自転だけを円弧歯形(内ピン)で取り出す等速度内歯車機構である(図2)。また、内ピンはクランク軸(高速軸)の中心と同心円上に配置されているので、高速軸と低速軸が同心となっている。

DAシリーズは、この2つの機構を組み合わせ、内ピンにローラを装着して転がり接触することで、高いギヤ効率が得られるようにした減速機である(図3)。

3 構造および開発技術

図4に、DAシリーズの構造および開発技術を示す。

DAシリーズは次の開発技術を適用することで、高トルク化および高モーメント化を実現した。

- (1) 曲線板の歯形最適化設計

曲線板歯形の数 μm の形状の違いは、かみ合いに大きな影響を及ぼすことから、歯形の最適化設計は、減速機の性能を左右する重要な技術といえる。本開発では、歯形のわずかな形状の違いによる減速部の応力分布や剛性

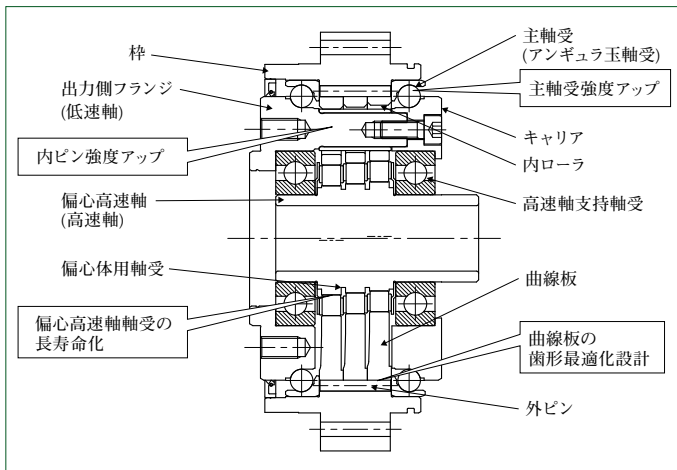


図4 DAシリーズの構造
Configuration of DA series

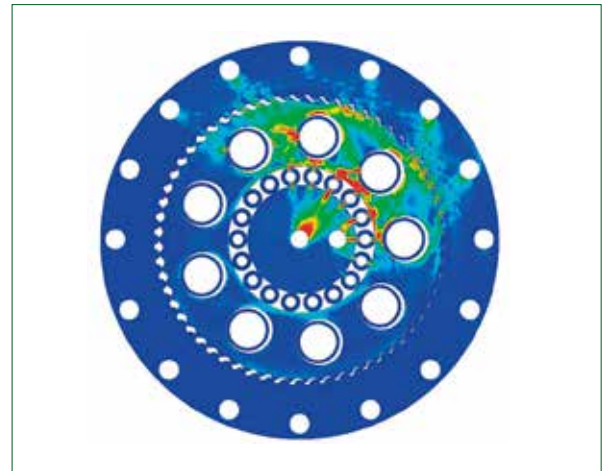


図5 くりこみ群分子動力学(RMD)法による減速部応力分布
Evaluation by renormalization molecular dynamics (RMD) method

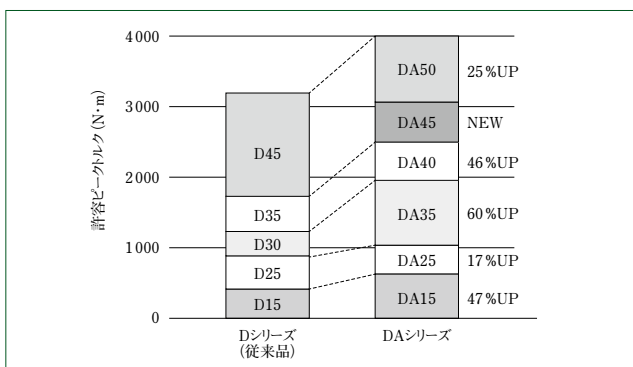


図6 許容ピークトルク⁽³⁾
Allowable peak torque

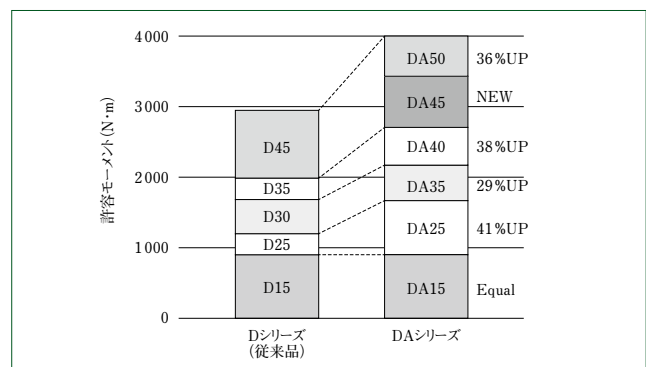


図7 許容モーメント⁽³⁾
Allowable moment

への影響度を評価すべく、高精度な解析が可能であるくりこみ群分子動力学(RMD)法を用いて減速部全体の解析評価を実施した(図5)。この解析方法により、曲線板の歯形の最適化設計が試作前に可能となり、高トルク化および高剛性化が実現し、開発のフロントローディングにより開発期間の短縮につながった。

(2) 内ピン強度向上

内ピン径と内ピン本数の設計を見直すことで内ピン強度が向上した。

(3) 偏心高速軸の長寿命化

偏心高速軸の熱処理を工夫し、さらに軸受ころのクラウニングを最適設計とすることで従来品に対して長寿命化を実現した。

(4) 主軸受の寿命強度向上

主軸受の設計諸元見直しにより主軸受の寿命強度が向上し、高モーメント化につながった。

4 製品特長

(1) 高トルク化

同一外径の枠番同士を比較した場合、従来シリーズに対して許容ピークトルクが最大60%向上した(図6)。

(2) 高モーメント化

同一外径の枠番同士を比較した場合、従来シリーズに対して許容モーメントが最大41%向上した(図7)。

(3) 製品ラインナップの拡充

DAシリーズは、従来シリーズに対して枠番および低減速比ラインナップを追加したことで、機種ラインナップ数が従来シリーズの14種類から27種類に増加した。製品ラインナップが充実したことで、顧客の装置に最適な機種の選定が可能となった。

5 おわりに

(1) ロボット用減速機として使用される精密制御用サイクロ減速機DAシリーズを開発した。

(2) DAシリーズは、従来品に比べ許容ピークトルクが最大60%、許容モーメントが最大41%向上したことに加え、機種ラインナップの拡充を達成した。

(参考文献)

- (1) 山本章, サイクロ減速機6000#シリーズの開発, 住友重機械技報, no.156, 2004.
- (2) 梅田和良, 精密制御用サイクロ減速機F4C-Dシリーズの開発, 住友重機械技報, no.168, 2008.
- (3) 住友重機械工業株式会社カタログ, 精密制御用サイクロ減速機DAシリーズ, F2006-1.0.

※「サイクロ」、「サイクロ減速機」、「CYCLO」、「CYCLO DRIVE」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

分散制御用インバータ DF-520シリーズ

Decentralized Inverter DF-520 Series

●小 松 幹 生*
Mikio KOMATSU



分散制御用インバータ DF-520シリーズ
Decentralized inverter DF-520 series

1 はじめに

従来、ファクトリーオートメーション(FA)の分野においては、インバータなどの制御装置を制御盤に収めて集中制御する方式が主流であった。しかし、近年IoTやIndustrie4.0などの技術的潮流から、FA分野でも工場のスマート化を目的に、制御の分散化やインテリジェント化が進んでいる。このような分散制御システムでは、分散配置された各種制御機器をオープンフィールドネットワークを介して接続することにより、柔軟でシンプルな構成を実現している。

これらのトレンドに対応すべく、分散制御用インバータDF-520シリーズを開発した。

図1に、集中制御と分散制御のシステム構成比較を示す。

2 DF-520シリーズの仕様

DF-520シリーズは、配送センターや空港搬送設備を代表とする大規模搬送システム、自動車や飲料などの生産ラインで使われるコンベヤなどをターゲットに200V/400V級0.75kW、2.2kWのシリーズ展開を計画している。

表1に、DF-520シリーズの主要仕様を示す。

3 DF-520シリーズの特長

3.1 省配線・省スペース

従来の集中制御方式では、インバータと必要周辺機器を制御盤に収納し、各機器間は端子台などを使って配線されている。分散制御用インバータDF-520シリーズは、インバータと必要周辺機器を防塵防水構造(保護構造:IP65)の筐体にパッケージ化しているので、制御盤なしでコンベヤなどの機器側に配置でき、現場での盤内配線作業も不要となる。また、すべての主回路および制御配線は、インバータ前面に配置されたコネクタでの配線となっていることから、配線作業やチェックが容易で誤配線も防止できる。これらのことにより、設置・配線を含めたトータルコストを削減することができる

ほか、熟練度の低い作業員でも設置・配線が可能なおから、作業員の人員確保も容易となる。

3.2 モジュール化

図2に、分散制御によるコンベヤシステムのモジュール化の例を示す。モジュール化により、出荷時や現地での試運転調整作業などをモジュールごとに実施できるので、出荷検査や現地立上げ作業の大幅な効率化が可能である。また、システムの拡張・変更にも柔軟に対応できる。

3.3 必要周辺機能のパッケージ化

DF-520シリーズは、インバータとモータ駆動制御に必要な周辺機能をパッケージ化している。主な内蔵機能を次に示す。

(1) オープンフィールドネットワーク通信

フィールドネットワークは、コントローラ(PLCなど)とフィールド機器(インバータなど)間の通信ネットワークである。そのなかでも、さまざまなベンダーの制御機器を接続できるオープンフィールドネットワークの普及が、FA現場の省配線・インテリジェント化を目的に進んでいる。DF-520シリーズは、主要なオープンフィールドネットワークであるPROFIBUS-DP、EtherNet/IP、AS-iに対応予定である。また、通信用の制御電源は、主電源とは別にDC24V電源を外部より供給することから、主電源をOFFにしても通信は継続可能となっている。

(2) センサ入力

オープンコレクタ出力タイプのセンサを接続可能な入力を4チャンネル内蔵している。(1)のフィールドネットワークを介して入力されたセンサ情報を上位コントローラに送信することにより、インバータをフィールドでの情報収集端末として活用することができる。

(3) エンコーダ入力

オープンコレクタまたは電圧出力型エンコーダの接続が可能な入力を2チャンネル(A相/B相)内蔵している。上位コントローラでエンコーダ信号を監視することによ

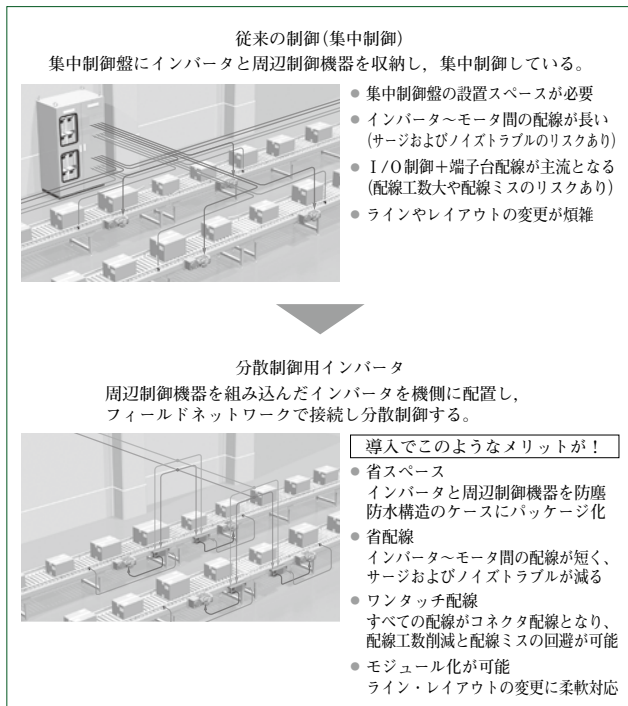


図1 集中制御と分散制御のシステム構成比較

Comparison of system configurations between Centralized control and Decentralized one

り、コンベヤなどの位置決めが可能である。また、本入力を前述のセンサ入力2チャンネルとしても使用することができる。

(4) EMCノイズフィルタ

インバータの普及および使用されている主回路スイッチング素子の高速化に伴い、インバータから発生するノイズが周辺機器に与える悪影響が問題になっている。

このことから欧州では、EMC (Electromagnetic Compatibility) 指令により、インバータなどの電子機器から発生するノイズに規制がかけられている。DF-520シリーズはこれらの状況を配慮し、欧州のEMC規格 EN61800-3 (Category C3) に対応したノイズフィルタを内蔵することで、ノイズの発生レベルを規格値以下に抑えている。

(5) メンテナンススイッチ(主電源スイッチ)

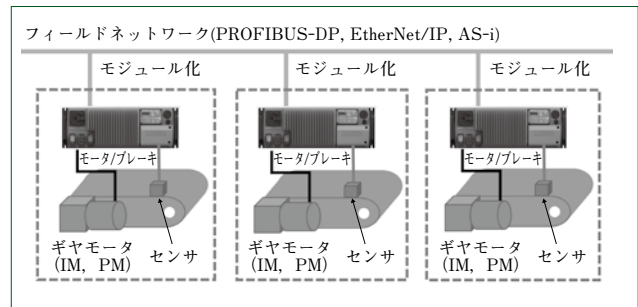
オプションの主電源ON/OFFスイッチを内蔵することにより、インバータの主電源を個別に遮断できるので、試運転やメンテナンス作業などの効率化が可能である。また、主電源スイッチのON/OFFの状態をフィールドネットワークを介して上位コントローラ側で監視することができる。

(6) パラメータバックアップ機能付きオペレータ

インバータ前面に装着されたオペレータにより、マニュアル運転操作が可能である。また、オペレータ上の7seg-LEDや各種LEDランプにより、出力周波数、エラーコード、ネットワーク通信やセンサ入力の状態などを確認できる。インバータの設定パラメータは、オペレータ内に保存されていることから、インバータ交換作業などの際は、オペレータの付替えによりパラメータを移植することができ、作業時間の大幅な短縮が可能となる。また、オプションで外付けのリモートオペレータを準備

表1 主要仕様
Main specifications

項目		DF-520シリーズ仕様
電圧クラス/適用モータ容量(kW)		400Vクラス/0.75kW, 2.2kW (200Vクラス計画中)
制御方式		V/F制御 (出荷値), センサレスベクトル制御選択可
フィールドネットワーク		PROFIBUS-DP, Ethernet I/P, AS-i
制御入力		センサ入力: 4チャンネル, セーフティ入力(STO), エンコーダ入力(A相/ B相)
本体 オペレータ	スイッチ	自動/手動切替SW, 正転/逆転SW, 停止SW
	表示	3桁7セグLED(周波数, エラーコード), センサ入力モニタ, 通信状態モニタほか
	その他	パラメータバックアップ機能
その他 内蔵機能	標準	EMCノイズフィルタ(EN61800-3 C3), 制動抵抗用トランジスタブレーキ制御回路(半導体SW急制動)
	オプション	主電源スイッチ, リモートオペレータ, 配線保護カバー
海外規格		UL, cUL, CE, Safety規格
使用環境		使用温度: -10~50℃ (40℃以上は電流低減), 耐振: 2G以下
寸法/質量		495 (W)×172 (H)×132.5 (D)mm/6.0kg (保護構造: IP65)

図2 コンベヤシステムのモジュール化(例)
Modularization example of conveyor systems

しており、日本語と英語の表示が可能な液晶画面を使ってマニュアル運転、パラメータの設定およびコピー、異常履歴の確認などを簡単に行うことができる。

(7) ブレーキ制御回路

ブレーキ制御回路を内蔵していることにより、ブレーキ付きモータの駆動時に従来必要であった電磁接触器や整流器が不要となる。また、半導体スイッチによる急制動回路の採用により、電磁接触器などの機械的接点のメンテナンスが不要となり、ブレーキ動作の応答速度や停止精度の向上も図られている。

4 おわりに

- (1) FA分野における制御の分散化やインテリジェント化の流れに対応し、分散制御用インバータDF-520シリーズを開発した。
- (2) 分散制御による省配線・省スペース・モジュール化により、設置・配線・試運転調整などの現地作業工数を大幅に削減することができ、システムの拡張や変更にも柔軟な対応が可能である。
- (3) インバータをフィールドでの情報収集端末として使用できることから、FAシステムのインテリジェント化にも貢献することができる。

制御の分散化やインテリジェント化は今後も進んでいくものと思われる。IoTやIndustrie4.0などの技術的潮流に対応して情報収集端末機能を強化するなど、今後も多様化する市場ニーズに応えるべく、製品やサービスの改良に努める所存である。

ギヤモータ状態監視システムの開発

Development of Gearmotor Condition Monitoring System

●鈴木 幸太*
Kota SUZUKI

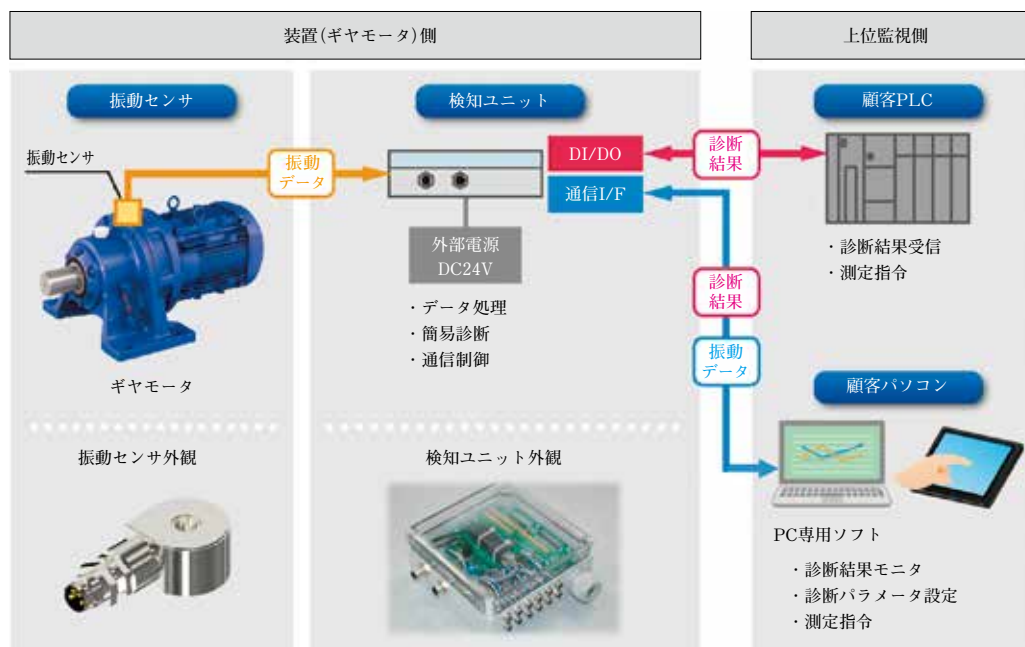


図1 システム構成
System configuration

1 はじめに

近年のIoT, Industrie4.0, Smart Factoryに代表される製造業のデジタル化の潮流により、生産設備を監視・診断する技術や装置への注目は一層高まってきている。生産設備の状態を監視・診断する主目的は、設備の保全を行うことで生産効率や製品品質の向上につなげることである。なかでも、生産設備内で使われる減速機やモータは、設備を動かす根幹となるコンポーネントであることから、その故障は生産効率の低下に直結しやすい。よって、減速機やモータの監視・診断は、突発的な故障によるダウンタイムの防止、定期的なメンテナンス時期の把握、メンテナンス費用の削減といった目的から、顧客の需要が特に高まってきている。

このニーズに対応すべく、特に使用台数が多い中・小型ギヤモータを対象としてギヤモータ状態監視システムの開発を行った。本報では、このギヤモータ状態監視システムの特長について解説する。

2 監視・診断装置の現状

減速機・モータをはじめとする回転機の診断は、振動によるものが主流となっている。その理由の一つとして、振動はほかの診断要素(温度等)よりも比較的早期に損傷による変化が現れるということがあげられる。当社のギヤモータ状態監

視システムも、振動を監視して状態を診断する。しかし、ひとくりに振動診断といっても、診断の対象となる生産設備によって、求められる診断レベルやコストは一様ではない⁽¹⁾。

例をあげると、風力発電装置のような非常に大型で高額な設備の場合は、故障した修理部品を入手するリードタイムも長く高所にあることから、急なメンテナンスの実施も困難である。よって、診断は「なるべく早期の段階で、どの部位が損傷しているか」を判定する高いレベルの精密診断が望まれる。診断コストについては、応答周波数の高い振動センサや周波数分析を行う機能が必要となることから診断装置が比較的高額となるが、故障時の大きな損失費用と比較すれば許容できる。また、周波数分析で故障部位を特定するには、診断対象の部位ごとの諸元情報(ギヤの歯数やベアリングの玉の数など)を診断パラメータとして入力する必要がある、ユーザ側の装置設定が煩雑になることが課題となっている。

これに対して、生産設備や搬送設備で使われる中・小型ギヤモータが故障した際にはギヤモータを本体ごと交換するケースが多く、交換に要するリードタイムも比較的短いので停止に至る前に検知ができれば、比較的末期の損傷でも保全可能である。また、特定部位だけ修理することも少ないことから、損傷部位を特定する必要性も低く、簡易診断レベルが適している。しかし、特に小型ギヤモータは製品価格自体が安



図2 振動センサ外観
Appearance of vibration sensor

表1 振動センサ仕様
Specifications of vibration sensor

項目	仕様
センサ方式	MEMS [※] 加速度センサ内蔵
振動測定レンジ	±16 G
外形寸法	φ20×12.8 mm (コネクタ部除く)

※MEMS：Micro Electro Mechanical Systems

微小な電気要素と機械要素を、一つの基板などの上に微細加工技術によって集積化したデバイス

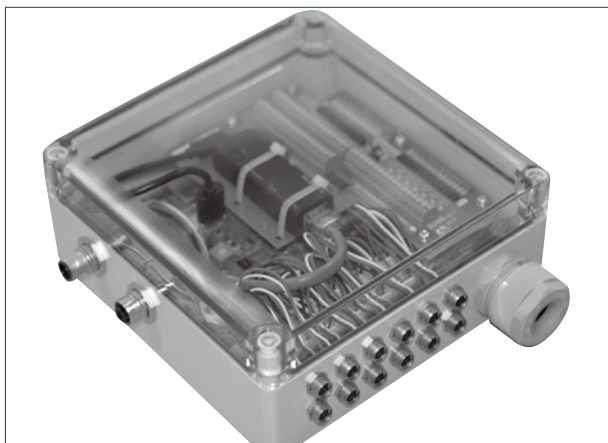


図3 検知ユニット外観
Appearance of detection unit

表2 検知ユニット仕様
Specifications of detection unit

項目	仕様
診断方法	振動実効値/振動ピーク値の相対値判定
診断基準値	オートキャリブレーション機能付き
振動センサI/F	① Max.12チャンネル ② Max.4チャンネル
上位通信I/F	Ethernet/(Wi-Fi オプション)
デジタル入出力	DI端子：計測トリガ用(チャンネル数)+アラームリセット用(2チャンネル) DO端子：診断結果アラーム用(チャンネル数×2 [注意/警告])
外形寸法(突起部除く)	① 175×175×75 mm ② 175×125×60 mm

価であり、ユーザや用途によっては数百台レベルで使用する設備もあり、ギヤモータ1台に対して診断コストをあまり掛けることができないという課題がある。

3 製品開発コンセプト

当社のギヤモータ状態監視システムは、2章で述べた小型ギヤモータの診断に対する課題を踏まえ、次に示す3つのコンセプトのもと開発した。

(1) 診断アルゴリズム・パラメータ設定

歯車やベアリングなどの機械部品の諸元入力など、煩雑なパラメータ設定が必要となる周波数分析は行わずに、診断アルゴリズムやパラメータ設定がシンプルな簡易診断システムとした。

(2) 故障検知レベル

中・小型ギヤモータの保全における故障検知レベルは、「末期損傷」で運用上は十分と考え、その診断レベルに見合ったスペックとする。

(3) 装置価格

必要性能を(1)、(2)のスペックに絞ることで、安価な小型ギヤモータにも適用できる低価格なシステムとする。

4 開発製品の仕様と特長

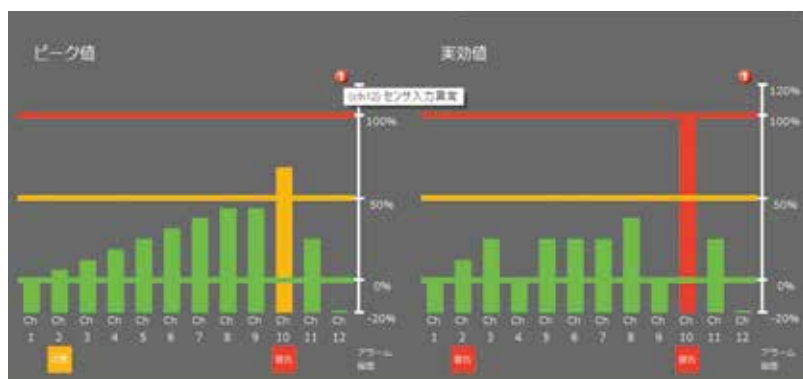
図1に、開発製品のシステム構成を示す。システムは振動センサ、検知ユニット、PC用ソフトウェアから構成され、振動センサで測定したギヤモータの振動データを検知ユニット内で診断し、その結果を上位のPCまたはPLCでモニタリングする。構成品それぞれの特長を次に示す。

(1) 振動センサ

図2に外観を、表1に仕様を示す。センシングはMEMS方式の振動加速度センサの採用により、低価格化を実現した。

(2) 検知ユニット

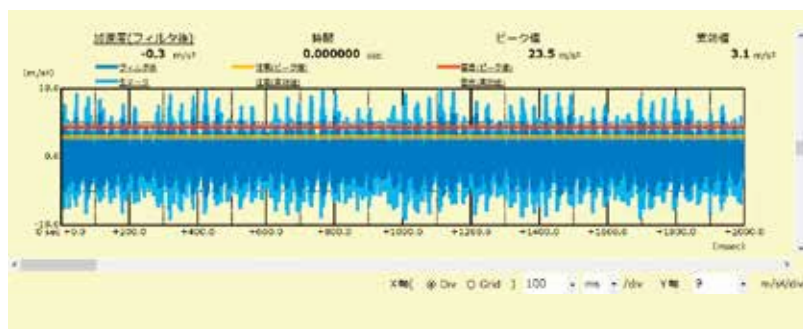
図3に外観を、表2に仕様を示す。診断方法は、振動の実効値とピーク値だけを使うことで、設計諸元情報も必要としないシンプルなアルゴリズムとし、CPUやメモリなどの仕様を最低限に抑えることで低価格化を図っ



簡易診断結果



トレンド表示



波形表示

図4 ソフトウェア画面
Software screen

た。診断のしきい値は、振動の絶対値ではなく初期状態(振動基準値)からの相対的な変化率を係数として設定することから、ギヤモータの機種や個体差、使用環境差によらず設定が容易となる。振動基準値はオートティーチング機能により、現状値の自動設定を可能とした。

また、1台の検知ユニットに複数チャンネルのセンサを接続できるようにし、ギヤモータ1台当たりの診断コストを抑える構成とした。顧客のシステム規模により、4チャンネルと12チャンネルの2種類をラインナップする予定である。

加えて上位のPCには、診断結果(状態の良否判定)だけでなく、振動生データを送信する機能を持たせた。これにより、PC側で振動波形を確認したり、市販のソフ

トウェアで周波数解析による精密診断を行うなど、拡張性を持たせている。

(3) PCソフトウェア

図4に画面例を、表3に仕様を示す。ソフトウェアでは、診断パラメータの設定と診断結果のモニタを行う。診断開始のトリガ設定により、連続運転だけでなく間欠運転しているギヤモータの安定動作区間の抽出を可能としている。また、フィルタや平均化処理により、外乱振動の抑制も行うことが可能である。

診断結果は、最新の結果を棒グラフの高さと色で表す簡易診断結果、保存データを時系列表示するトレンド表示、振動生データの波形を表示する波形表示の3つをモニタすることが可能である。

表3 PCソフトウェア仕様
Specifications of PC software

項目	仕様
診断パラメータ設定	計測開始トリガ：周期起動 / 外部信号起動
	計測時間関連：計測時間，診断周期，遅延時間など
	診断基準 / しきい値：基準に対する係数設定
	補正・フィルタ機能：LPF，HPF，平均化处理
診断結果モニタ	① 簡易診断結果 ② トレンド表示 ③ 波形表示



図5 ピニオンギヤの損傷
Failure of pinion gear

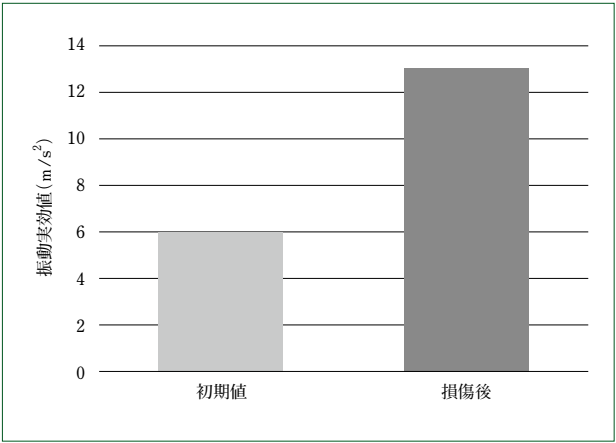


図6 振動値比較結果
Comparative result of vibration

5 検証試験結果

完成したシステムの効果検証をギヤモータの寿命試験で行った。試験機種には当社の小型ギヤモータであるハイポニックなどを用い、過負荷寿命試験を行うことでギヤ歯面やベアリングなどを損傷させた。

図5に、ピニオンギヤの損傷の一例を示す。この状態は、本システムが狙いとしている末期損傷のレベルであるが、ギヤモータの駆動に問題はなく、すぐに停止に至るものではない。効果検証は、初期状態からこの損傷状態に至るまでの振動値を計測した。

図6に、本システムで計測した初期と損傷後の振動値の比較を示す。システムで振動値の顕著な変化が確認され、この損傷レベルは、本システムで検知可能であることが確認できた。

6 おわりに

- 当社の中・小型ギヤモータの保全に対する顧客ニーズに沿った特長を持つ、低価格なギヤモータ状態監視システムを開発した。
- 今後も顧客の多種多様なニーズに対応すべく、シリーズの拡張・改良開発を行っていく所存である。

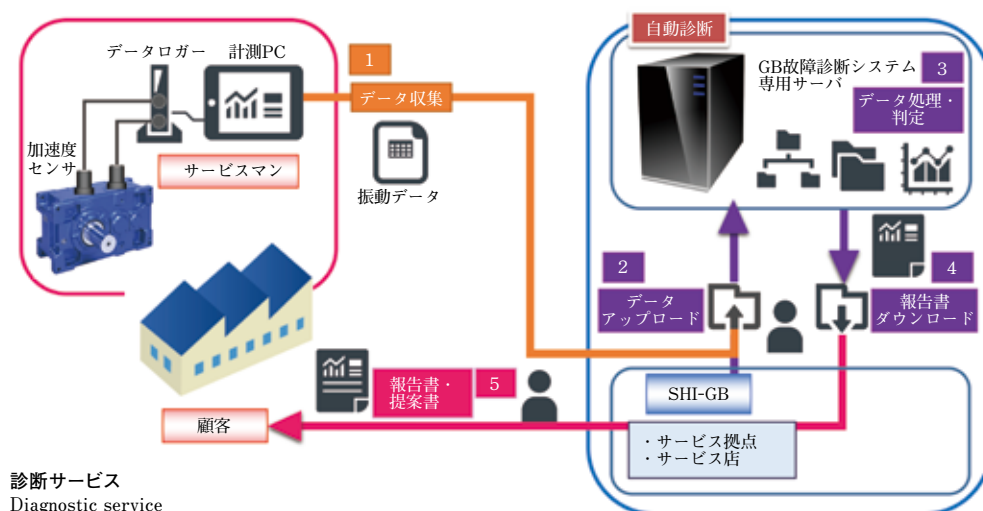
(参考文献)

- 陣山 鵬，機械設備の異常検知と状態判定基準について，日本信頼性学会誌，信頼性，37(3)，104-110，2015。

ギヤボックスの故障診断

Failure Diagnosis of Gearbox

● 栗田 泰 伸* 山中 一 真** 市川 智 子**
Yasunobu KUWADA Kazuma YAMANAKA Tomoko ICHIKAWA



診断サービス
Diagnostic service

1 はじめに

住友重機械ギヤボックス株式会社 (SHI-GB) が製造・販売するギヤボックスは、動力を伝達するコンポーネントとしてさまざまな分野で使われており、ギヤボックスの故障・停止が、設備の操業に大きな影響を及ぼすことがある。そのような故障・停止に至る前に運転中のギヤボックスの状態を把握することができれば、あらかじめ必要な部品を準備し修理計画を立てることが可能となり、設備停止期間(ダウンタイム)の削減という価値を顧客に提供できると考えている。このことからSHI-GBでは、2013年10月からギヤボックス精密診断(振動診断)サービスを提供している。しかし、現状はベテランが経験にもとづいて判定する方法であり、要望が増えたと対応しきれない可能性がある。そこで、ベテランの経験に頼ることのないギヤボックスの自動診断システムを2015年度から2017年度にかけて開発した。本システムの特長は、SHI-GBの製品であるパラマックス減速機(もしくは相当する平行軸ギヤボックス)について、状態監視のような継続測定による変化点監視ではなく、ある時点の振動データから、軸受と歯車の損傷の有無および損傷部位をこれまでより高い精度で判定するという点である。このシステムは、2017年12月にフィールド投入し、検証を行っているところである。本報では、この故障診断システムの概要と特長について解説する。

2 故障診断システムの概要

故障診断のプロセスは、振動データ収集→データ処理→判定→報告書作成という流れとなる。判定のなかには、状態判定と部位特定が含まれる。現行の振動診断では、測定した振動データを作業者の手で分析し報告書を作成しているのに対し、本システムでは一連のプロセスを半自動化することで、

診断時間の短縮が可能となっている。また、故障診断を実施するには、ギヤボックスに使われている歯車や軸受の情報が必要であるが、これらの情報は社内基幹システムに保存している情報を利用することで、入力の手間を大幅に削減することができる。さらに本システムは、クラウド上のサーバで分析・診断を行うことにより、振動データや診断結果を一元管理することが可能となり、システムによる診断結果と内部点検結果をもとにしたアルゴリズム改良や、診断の対応範囲の拡大など、継続的な改善ができるようになった(図1)。

3 故障診断アルゴリズム

故障診断アルゴリズムに関して概要を説明する。先行開発してきた風力発電用ギヤボックスの故障診断技術を応用し、特定の1機種を対象に診断手法の目処付けを行った。その後、多機種に適用可能な診断手法を検討し、MTシステムと振動法にもとづく独自の判定ロジックを組み合わせた状態判定手法および部位特定手法を開発した。MTシステムとは、多次元情報データによるパターン認識や予測・推定を目的とした情報処理技術である。本アルゴリズムの開発段階では、ギヤボックスに模擬損傷品を組み込み、ベンチ試験を実施した(図2)。

図3に、本システムの診断フローを示す。診断フローの各項目について次の①～⑤で説明する。

① センシング

ギヤボックスの軸受近傍に加速度センサを設置し、振動加速度の時系列データを収集する。顧客の稼働条件や主要機種の情報をもとに、軸受や歯車などのギヤボックスを構成する全パーツの特徴を捉えられるように、サンプリング周波数と収集時間を設定している。

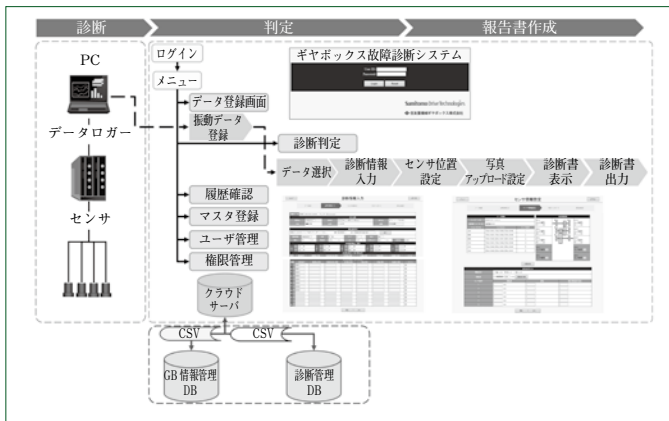


図1 システム構成
Diagnostic system

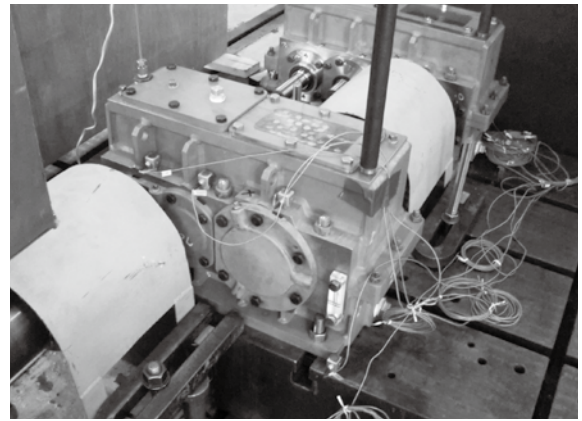


図2 ベンチ試験の様子
Bench test

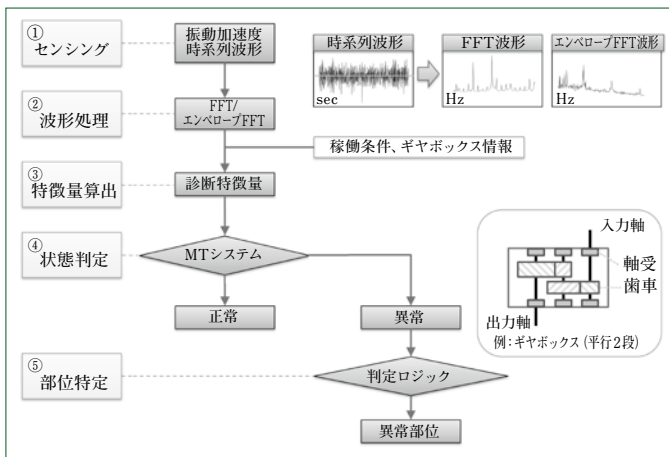


図3 診断フロー
Diagnostic flow

② 波形処理

振動加速度の時系列データに対して、FFT処理とエンベロープFFT処理を実施する。エンベロープFFT処理とは、時系列データに対してローパスまたはバンドパスフィルタを通し、全波整流処理後に包絡線をとった波形に対してFFTを実施する処理である。稼働条件や損傷部位によって捉える必要のある周期が異なることから、包絡線の算出方法を工夫し、最適なエンベロープFFT波形を創出することで検知精度の向上を図っている。

③ 特徴量算出

主に軸受や歯車から発生する異常振動成分をもとにした診断特徴量を採用している。また、軸受や歯車の情報が不要な信号処理による汎用的な診断特徴量なども併せて利用している。いずれもベンチ試験から得た、さまざまな損傷部位における異なる損傷レベルの異常データおよび実機で想定される故障モードの特徴をもとに、物理的な裏付けも検討したうえで診断特徴量を選定した。

④ 状態判定

故障診断を行う際、簡易診断→精密診断のステップで行うことが一般的であるが、簡易診断の情報量では軽微な損傷を検知することは困難である。本システムでは、精密診断で用いるような多数の情報を使ってギヤボックスの状態(正常/異常)を判定する。複数の判定器を保有することで、検知精度の向上を図っている。段数により

センサ設置数が異なるが、どの段数のギヤボックスにおいても同一手法で診断できるようにし、汎用性を確保している。状態監視のように、トレンドを評価することができず、また診断対象のギヤボックスにおける過去の良好状態時のデータがないことを想定した運用であることから、状態判定において正常データの定義が重要となる。このことから、ベンチ試験の際に異常データと併せて、良好状態である正常データにおいても稼働条件やばらつきを考慮した複数条件のデータを取得した。今後もフィールドデータを蓄積し、改善・更新することでロバスト性を確保していく。

⑤ 部位特定

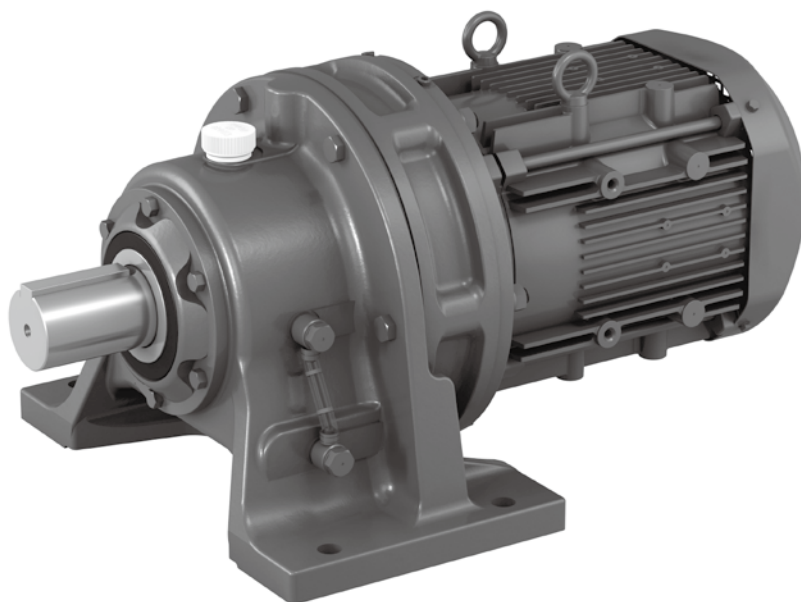
本システムでは、状態判定で異常と判断された場合、部位特定のフローへ移行し、振動法にもとづく独自の判定ロジックにより、最も可能性の高い損傷部位を推定する。判定条件に使用する診断特徴量とその閾値を適切に設定することで、高精度な部位特定が可能となる。

4 おわりに

- (1) 本診断システムの運用により、ベテランでなくても高精度な診断が可能となるだけでなく、診断に要する時間も大幅に削減できることから、顧客の要求に対し、これまで以上に迅速な対応が可能になることが期待される。
- (2) 現在は、通信速度やデータサイズの制約から、事務所に持ち帰りクラウドサーバにデータを送信しているが、今後はモバイルネットワーク技術の進歩や、データのエッジ処理などを活用することにより、訪問先で診断結果を提供することを可能にする予定である。
- (3) 近年、IoT技術の進歩により、センサの小型化・低価格化技術開発が進んでいる。これに伴い、これまでの予防保全(Preventive Maintenance)の考え方から、予知保全(Condition Base Maintenance)への要求が増えてくると予想される。予知保全の実現には、常時監視型の状態監視システムが必要となるが、これについても故障診断システム開発で培った技術やノウハウを活用しつつ開発を進めている。SHI-GBでは、特定の診断システムだけでなく、豊富な診断システムのラインナップを準備することで、多様化する顧客のニーズに対応する商品を提供していく所存である。

シンガポール向けIE3効率規制対応モータ

IE 3 Efficiency Motor for Singapore



世界の電力消費量は年々増加しており、同時にエネルギー資源の消費量増加や温室効果ガス排出による地球温暖化などの問題も年々拡大している。このことから、幅広い分野で省エネルギー化・高効率化が推進されている。

世界で使用される全電力の40～50%はモータが占めており、モータの効率向上が求められている。

日本や欧米では、すでにIE3効率の規制が開始されており、その他の国にも広がっている。

シンガポールでは、2018年10月1日より省エネルギー法 (the Energy Conservation Act : ECA) においてIE3効率規制が施行された。IE3効率を満たさないモータをシンガポール国内で製造、または国内に輸入されることを制限している。

当社はIE3効率規制の認証を取得し、2018年9月より発売を開始した。サイクロ減速機をはじめとする多彩な減速機に直結することが可能で、電磁ブレーキ付きなどのさまざまな仕様に対応することができる。

今後も、顧客が海外展開する際に安心して当社のモータを使用できるよう、各国の規制および規格の改訂に対応していく。

耐熱クラス 155 (F)

特 長

- (1) モータ銘板に製造年、IEコード、負荷率(100 % , 75 % , 50 %) の公称効率値を記載しており、使用者が管理しやすくなっている。
- (2) 当社製の各種減速機との組み合わせが可能である。
- (3) ブレーキ付き仕様への対応が可能である。

※「サイクロ」および「サイクロ減速機」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

主要仕様

容量範囲	0.75～55kW 4P
電源	三相 230 V/400 V 50Hz (0.75～4.0kW) 三相 400 V 50Hz (5.5～55kW)
効率クラス	IE 3
保護形式	IP55 屋外型

(PTC事業部 村尾駿太)

BBB-Hシリーズ小型領域への対応

Bevel BUDDYBOX H Series Small Range



当社は、中・小型ギヤモータの直交軸タイプの減速機として、ベベル・バディボックス減速機4シリーズおよび5シリーズとハイポニック減速機をラインナップしており、幅広いモータ容量と減速比をカバーしている。直交軸タイプとは、モータ軸と出力軸が直交しているタイプの減速機であり、直交歯車機構を有するものを指す。ベベル・バディボックス減速機4シリーズおよび5シリーズは効率に優れたベベル歯車機構を有し、ハイポニック減速機は静音性に優れたハイポイド歯車機構を有する。

これらの減速機は、宅配・運送業務や荷物集配の物流システムに使用されているが、近年では物流システムの高速化が進み低減速比へのニーズが高まっている。同時に、省エネルギー化・高効率化を重要視する設備メーカーも増えてきている。当社は、これらの要求に応えるべく2017年に低減速比に特化した直交軸タイプのベベル・バディボックス減速機Hシリーズ(BBB-Hシリーズ)を商品化した。このBBB-Hシリーズは、ハイポニック減速機の構造をもとにしたベベル歯車を有する減速機であり、ハイポニック減速機の持つ信頼性に加えて高効率を実現した減速機である。このBBB-Hシリーズは、主にスタッカークレーン走行用に商品化したものであり2.2~11kWのモータ容量領域をカバーしているが、今回、空港設備向け搬送コンベヤ用として需要の多い小型領域(0.75~1.5kW)までモータ容量を拡大する。

空港設備メーカーは、乗り継ぎ時間短縮を目的として搬送コンベヤの高速化を進めており、使用減速機の低減速比化への要求が高まっている。また、大規模な空港設備では省エネ

ルギー化を重要視しており、BBB-Hシリーズは市場要求に適合した減速機であると考えている。

主要仕様

減速機タイプ	直交軸中空軸タイプ
減速比	5~30比
モータ出力	0.75~1.5kW
モータ電源	三相 200V 50Hz/60Hz, 220V 50Hz/60Hz 三相 400V 50Hz/60Hz, 440V 50Hz/60Hz
潤滑方式	グリース潤滑

特長

- (1) 高効率減速機構
領域を低減速比に絞り、ベベル歯車+平歯車の2段減速機構とすることで高効率を実現し、市場要求である省エネルギー化に対応している。
- (2) 減速部のコンパクト性
2段減速機構に加え、出力軸タイプを中空軸のみとすることにより減速部ケースのコンパクト性を実現した。
- (3) 長寿命かつ高信頼性
メンテナンス性を考慮し、ハイポニック減速機で実績のある長寿命グリースを使用することにより高い信頼性を確保した。

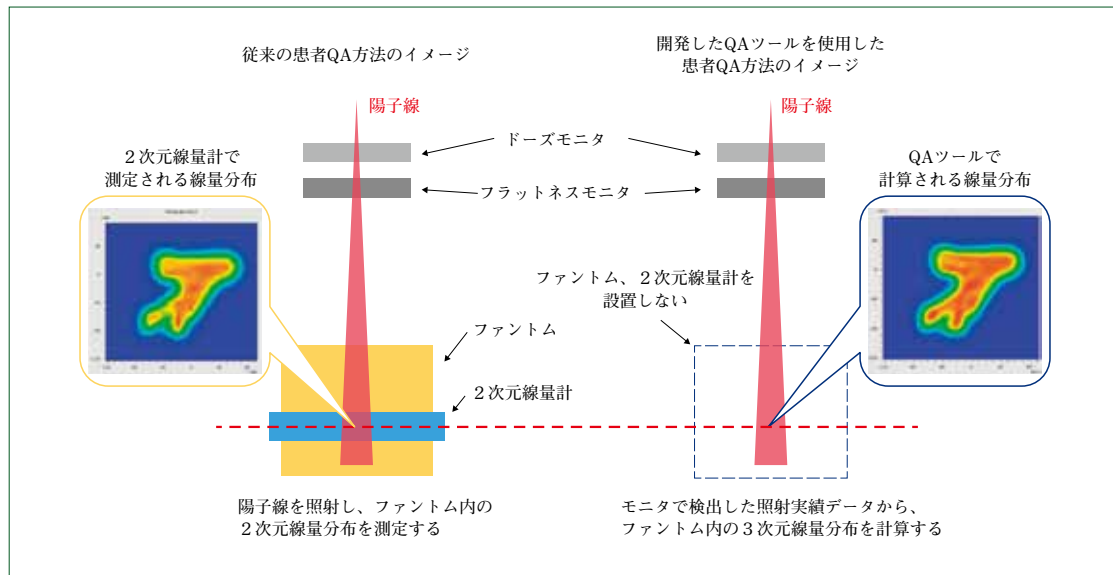
※「バディボックス」および「ハイポニック」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

(PTC事業部 長尾祐樹)

IMPT用患者QAツールの開発

Development of Patient Specific QA Tool for Intensity Modulated Proton Therapy

●水谷 昌平* 山口 喬*
Shohei MIZUTANI Takashi YAMAGUCHI



開発したQAツールを使用した患者QA方法のイメージ
New patient specific QA using our developed QA tool.

陽子線治療の患者QA (Patient Specific Quality Assurance) は、均質ファントムに対して陽子線を照射し、複数層の深さの線量分布を測定している。また、治療機器の進歩により、IMPT (Intensity Modulated Proton Therapy: 強度変調陽子線治療) と呼ばれる腫瘍への線量集中性に優れた照射が可能となった。しかし、IMPTはその線量分布の複雑さから、患者QAに時間がかかるという問題がある。IMPTが標準的な照射法になることが望まれるが、長時間労働が社会問題となっている臨床現場において、今以上に患者QAによる現場への負担を増やすことはできない。効率的な患者QAを考え、物理士の負担を減らすことは重要な課題である。当社は、患者QAの省力化が期待できるツールを開発し、臨床利用を通じて、物理士の負担低減という結果を得た。本報ではこれらの内容について報告する。

Patient Specific Quality Assurance (PSQA) is commonly performed by using a homogeneous phantom and by measuring the dose distribution of multiple layers. In addition, IMPT has enabled irradiation with excellent dose concentration on tumors. However, IMPT has the problem that PSQA takes time due to the complexity of its dose distribution. While we hope that IMPT becomes a standard irradiation, it is not acceptable to introduce a process that will make clinical practitioners' working hour further longer in the real clinical sites where their extremely long work hour has already become a special problem. It is an important issue to reduce the burden on physicists by coming up use a more efficient PSQA. We developed a tool that can be expected to save labor for PSQA, and obtained the results of reducing the burden on physicists through clinical use. In this article, we report on these contents.

1 まえがき⁽¹⁾

世界保健機関(WHO: World Health Organization)によると死因の第1位はがんであり、日本でもがんによる死亡者数は年々増加している。がん治療として、手術は局所療法として優れるが、病変とともに周囲の正常組織が取り除かれることから、治療後の生活に障害を伴うという問題点がある。また、化学療法は、進行がんや悪性リンパ腫などの血液性がんでは有用性が高いが、固形がんに対しては根治に至るケースはま

れで、多くの場合は緩解や多少の延命が得られるのみである。たとえば、抗がん剤療法は治療効果の発現量と有害反応の発生量が近接し、効果を得るには有害反応は避けられないことが多い。これは、患者にとって生活の質(QOL: Quality Of Life)の低下を意味し、大きな課題となっている。

放射線治療は、手術と同じ局所療法であるが、臓器の形態と機能を温存できるという最大の特長を有している。手術では腫瘍の切除とともに周辺臓器および器官を欠損してしまうという欠点を避けられないが、放射線治療では腫瘍のみを消

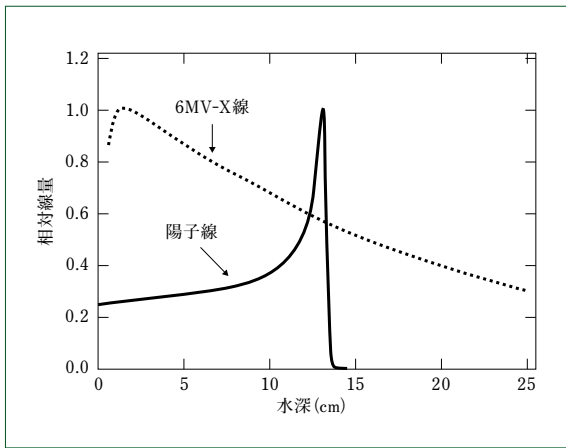


図1 陽子線とX線の水中深部線量分布の比較
Comparison of dose depth distribution of proton and that of X-ray in water

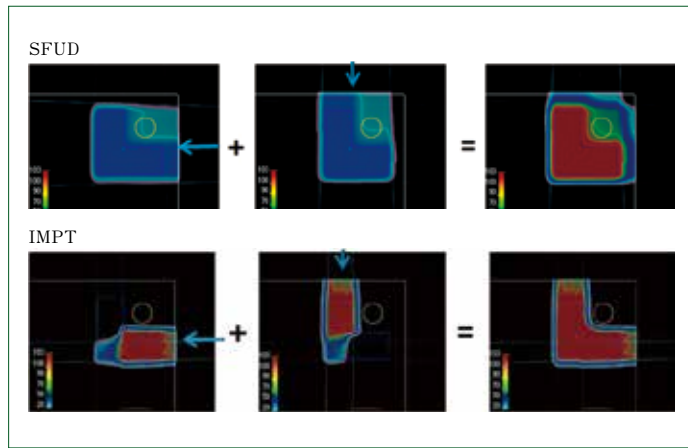


図2 SFUDとIMPTの線量分布
Comparison of dose distributions between SFUD and IMPT

失させ、正常組織の構造を保持することができる。また、抗がん剤療法と比較して、効果も副作用も基本的には放射線の照射範囲に限定され、照射範囲が大きくない場合は有害事象が軽度であることが多い。このように、ほかの治療法と比べ非侵襲であることから、ほかの治療法が施行できない高齢者や合併症のある患者でも選択が可能な治療法である。がんの治療法において放射線治療の果たす役割は大きく、WHOの world cancer report には、がん患者の50%が何らかのかたちで放射線治療を受けていると書かれている。

放射線の殺細胞効果は腫瘍以外の正常組織にも現れ得るが、物理的に線量分布を制御し、線量をできるだけ腫瘍に集中させることで正常組織の副作用を軽減し、その機能を保全することができる。この線量集中性が陽子線の大きなメリットである。図1に、陽子線とX線の水中深度線量分布を示す。一般的な放射線治療であるX線は、浅部でビルドアップし、深部に進むにつれて指数関数的に減少するエネルギー付与を起し、線量分布は明確な飛程を持たない。これに対し陽子線は、その入射エネルギーに応じた深さにブラッグピークと呼ばれる鋭いピークを持ち、そのすぐ後方では線量が急激に低下する。この特徴的な深部線量分布はブラッグカーブと呼ばれ、X線と比べて腫瘍前方や後方部への線量を低減し、腫瘍に線量を集中させることができる。

2 陽子線の照射野形成法⁽¹⁾

加速器から出力された陽子線は数mm程度の細さで、エネルギーはほぼそろっている。一方で、腫瘍は3次元形状を持ち、存在する場所もさまざまなことから、この細いビームを拡大し腫瘍形状に合致した線量分布を形成することが必要となる。同時に、腫瘍周囲の正常組織および放射線感受性の高い重要臓器(OAR: Organ At Risk)への線量付与をできる限り小さくする必要があり、このビーム整形過程を照射野形成という。特に脳幹、視神経、脊髄、心臓がOARとして知られ、これらのOARへの線量付与を避ける、あるいは過去の治療経験から見積もられている耐容線量以下に抑えることが重要である。

現在、陽子線治療で用いられている照射野形成法の一つにスキニング照射法がある。これは、加速器から取り出した

ビームを直接腫瘍に照射し、ブラッグピーク位置(スポット)を3次元的に変化させ、適切なビーム強度で各照射位置に照射することで腫瘍の形状に沿った等線量面を作る方法である。この方法は、ビームライン上に配置する物質が少なく、陽子がそれを通過する際の中性子の発生量が少ないことから患者の中性子被曝を低減でき、全積分線量の低減とともに特に晩発性障害の発生が心配される小児がんの治療に対して極めて有望と考えられている。スキニング照射法は、SFUD (Single Field Uniform Dose)とIMPTの2つの線量分布形成法に分けられる。一般的に陽子線治療は、腫瘍周囲の正常組織を温存させるべく、複数の方向から照射する多門照射を行う。多門照射による合算線量分布は、腫瘍内で均一になるようSFUD、IMPTともに治療計画を作成する。しかし、SFUDでは単門で腫瘍全体を均一に照射する線量分布を作るのに対して、IMPTは各門で腫瘍内の線量分布の不均一を許容する方法である。図2に、SFUDとIMPTの線量分布の違いを示す⁽²⁾。図中の青線で囲まれた標的領域に対して青矢印の方向から照射を行い、右端の図は合算した線量分布を表している。SFUD、IMPTともに標的内に均一な合算線量を与えているが、黄線で囲まれた円領域のOARに対しては、IMPTはSFUDと比べてOARへの線量付与を避ける理想的な線量分布を形成している。このことから臨床ではIMPTを使用した治療が積極的に求められるが、IMPTはSFUDと比べて患者QAに時間がかかるという問題点があり、現在はSFUDが陽子線治療の標準的な照射法となっている。

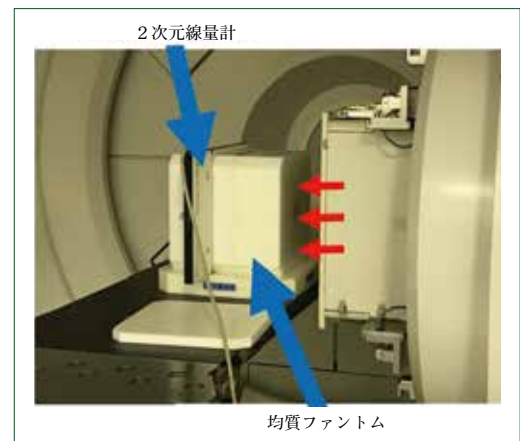
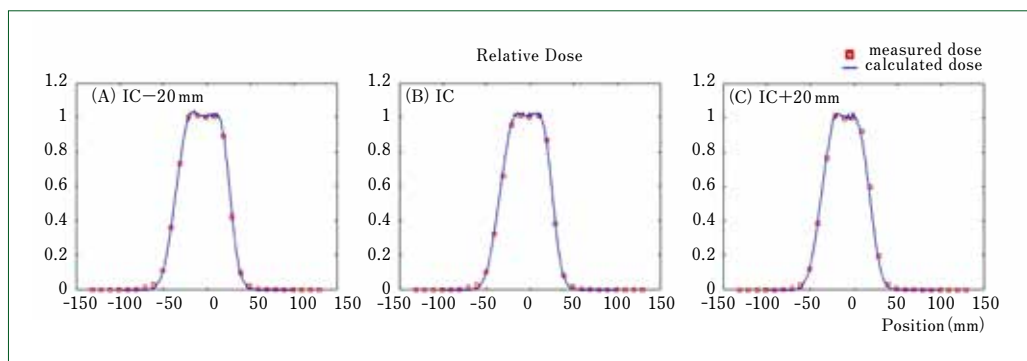
3 患者QAの概要

陽子線治療では高い照射精度が要求されることから、治療計画の正確性または機器設定に起因する線量分布の曖昧さが問題となる。陽子線治療のQAでは、これらの差異を明らかにし、照射精度を維持する方策を示すことを重要な役割としている。表1は、米国6施設でのX線治療に対する陽子線治療の各QA項目の作業時間比である⁽³⁾。そのなかで、陽子線治療の患者QAは施設ごとの時間比のばらつきが大きく、X線治療と比べて平均2.2倍の時間を要している。患者QAは、患者ごとの治療計画の計算結果が照射装置により実現されることを均質ファントムで確認する作業である。現在の患者QA

表1 X線治療と陽子線治療の各QA時間の比較

Comparison of each QA time of proton therapy and that of photon therapy

QA Type	X線	陽子線						
		施設1	施設2	施設3	施設4	施設5	施設6	平均
Daily QA	1	1	1	1	1	3	0.25	1.2
Weekly QA	1	N/A	N/A	N/A	N/A		N/A	
Monthly QA	1	2	1.5	1~1.5	1		1	1.4
Annual QA	1	1	1	1~1.5	1		0.75	1.0
Patient specific QA	1	3	4	0.25~0.5	0.75	4	1	2.2

図3 現在の患者QAの方法
Patient specific QA setup図4 線量分布の測定結果とQAツールの計算結果の比較
Comparison of dose distributions measured and those calculated by our QA tool

は、図3に示された配置関係でファントム厚を可変し、測定深を変えて複数層の線量分布を測定することで達成する。多門照射の場合、門数分だけこの作業を繰り返すことになるので現在の患者QAは時間がかかり、SFUDでは1患者当たり1~1.5時間を要している。また、一般的にIMPTは各照射門の線量分布が複雑であることが知られており、治療の質を保証すべくSFUDに比べ多くの層を測定する施設が多い。現在IMPTで治療を行う施設からは、患者QAに1患者当たり3~4時間費やしているという報告もある。陽子線治療のさらなる発展にはIMPTが標準的な照射法になることが望まれるが、治療前に必ず行う患者QAに膨大な時間がかかっていてはその実現は難しい。陽子線治療者数が今後増え続け、患者QAが増大する一方では臨床の物理士の労働時間が増え現場は疲弊するばかりなので、簡略化できるところは簡略化すべきである。臨床現場の人的資源や業務時間は有限であり、より効率的な患者QAにより物理士の負担を減らすことは重要な課題である。そこで当社は、国立がん研究センター東病院(NCCHE: National Cancer Center Hospital East)との共同研究を通じて、患者QAの高スループットが期待されるQAツールの開発に取り組んだ。

4 QAツールの検討

陽子線治療装置には、単位時間当たりの陽子線の線量や位置が記録されるモニタ(ドーズモニタ, フラットネスモニタ)が常時挿入されている。QAツールの入力、照射中に必ず

記録される照射実績データを使用し、この照射実績データから算出され実際に照射される線量分布の結果が出力される。QAツールからは、医療分野で標準的なDICOM形式の線量分布の計算結果が出力されることから、市販の解析ソフトで容易に線量分布の解析が可能である。

代表図は、QAツールを使用した患者QA方法のイメージである。従来の患者QA方法は、物理士がファントムや2次元線量計をセットアップし、実際に線量分布を測定することで達成していたが、本開発成果物のQAツールを使用した患者QA方法では、それらのセットアップを必要としない。照射実績データから算出される線量分布で患者QAが達成されれば、作業者の手間や時間を削減することができる。

QAツールの計算結果は、これまで測定していた線量分布に代わり患者QAに用いられることから、その計算精度は重要である。また、計算精度が優れていても、その計算に数時間を費やしては患者QAの効率化の障害となる。本開発では、計算精度と時間のバランスに優れ、陽子線治療業界で実績のある簡易モンテカルロ法を採用した⁽⁴⁾。

5 QAツールの結果検証と開発効果

本開発のQAツールで出力される線量分布の計算精度を評価すべく、NCCHEで実測した合計82門の線量分布との比較を行った。図4に、線量分布の測定値とQAツールの計算値を比較した一例を示す。赤点が測定値、青線がQAツールの計算値を表し、両者はよく一致していることが分かる。そし

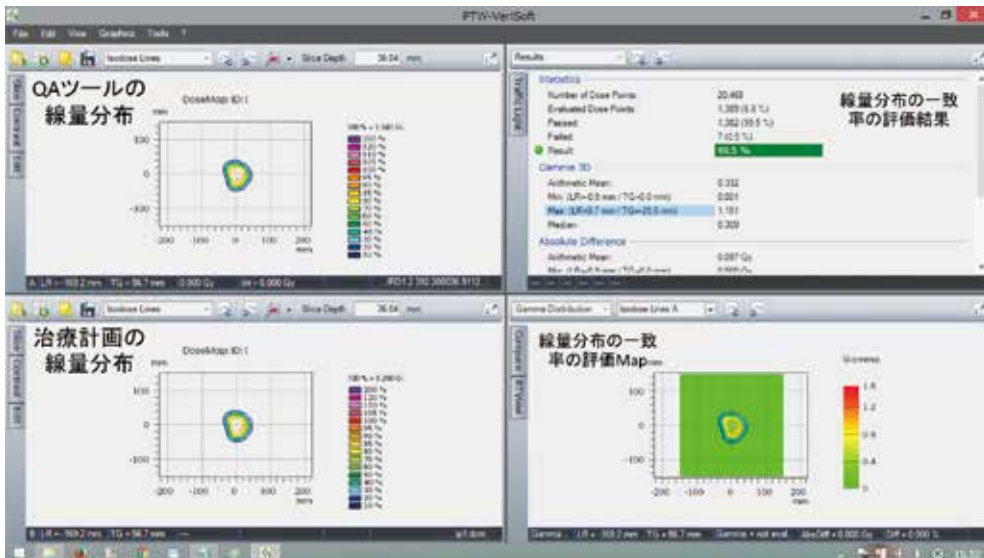


図5 治療計画の線量分布とQAツールの線量分布の比較
Comparison of dose distributions calculated by a TPS and those calculated by our QA tool

て、計82門分の比較結果は $99.9 \pm 0.20\%$ (平均値+標準偏差)の線量分布の一致率であり、QAツールで計算される線量分布は実測を再現する結果を得た。また、QAツールの計算に数時間を要すると臨床利用は望めないが、その計算時間は 235 ± 23 秒で、4分かつからずに計算が完了する。このような結果を得て、NCCHEはQAツールが実臨床で十分利用可能であると評価し、現在このQAツールの臨床利用を行っている。図5に、NCCHEにて行った市販の解析ソフトを用いた治療計画の線量分布と、QAツールの線量分布の比較を示す。従来の患者QAにおいて2次元線量計で測定した一部をQAツールの計算結果に置き換えることにより、1患者当たり1~1.5時間費やしていたSFUDの患者QAが30分に短縮されたとNCCHEから報告されている。

また、陽子線のビーム使用量についてもNCCHEから高評価を受けている。2018年4月からの陽子線治療の前立腺がん症例への保険適用を受けて、前立腺がん治療の患者数が増加し、近年病院でのビーム使用量が問題となっている。ビーム使用量の上限を超えると法令違反となるので、臨床ではビーム使用量をいかに削減できるかが重要となる。QAツールの臨床利用により測定数を減らすことができたことで、約13%のビーム使用量削減という結果を得た。

本課題を通じて、社会問題である医療従事者の労働時間改善に貢献できたと考えている。病院ではこれまで、患者QAは治療が終了する夕方から夜中にかけて行い、かなりの人手と時間をかけて運用してきた。たとえば5人の物理士で3時間の時間を割いて患者QAを行う場合、物理士1人当たりの人件費を1.5万円/時間と仮定すると、22.5万円/日と計算される。それに対し、QAツールを用いた患者QAにより作業時間が半分に短縮されると、人件費も11.25万円/日となる。これは、病院当たり年間1500万円の人件費削減につながり、この結果を当社陽子線治療装置が導入された7施設に拡大すれば、年間10500万円の人件費削減となる。さらに、諸外国で複数の治療室を持つ施設の場合は、患者数が多く物理士の作業時間も長いことから、この見積り以上の効果を期待するこ

とができる。

6 今後の展開

QAツールを臨床で使用しているNCCHEからの高評価に加え、学会やユーザーズミーティングなどでの発表を通じて、当社陽子線装置が導入された病院からQAツールの販売を要望されている。このことから、今後はQAツールの商品化に向けた課題に取り組む予定である。当社は、陽子線治療装置のハードウェアを顧客に提供するだけでなく、ソフトウェアも併せて提供することが市場での競争力強化につながると考えている。今後も対外発表を通して開発成果を積極的にアピールし、営業活動を継続していく所存である。

7 むすび

- (1) 患者QAの省力化を目的としたQAツールの開発を行った。
- (2) QAツールで出力される線量分布は、実臨床の患者QAにおいて使用可能という結果を得た。
- (3) NCCHEにおいて従来は1患者当たり1~1.5時間かかっていた患者QAが、QAツールを使用することで30分に短縮された。

(参考文献)

- (1) H. Paganetti, PROTON THERAPY PHYSICS, CRC Press, 2012.
- (2) M. Pankuch, Modern Proton Treatment Planning(2), PTCOG57, May 21-26, 2018.
- (3) C. Beltran, Workflow Efficiency, PTCOG57, May 21-26, 2018.
- (4) R. Kohno, T. Sakae, Y. Takada, Simplified Monte Carlo Dose Calculation for Therapeutic Proton Beams, Jpn. J. Appl. Phys. 41(2002), pp.L294-297.

住友重機械技報技術分類総目次

(第191号～第200号 2016年8月～2019年12月)

題 名	号	頁	執 筆
変減速機・インバータ			
可変時定数法による熱連成シミュレータの開発	191	1	技術本部
はすば歯車減速機の振動計測によるかみ合い起振力の推定	191	5	技術本部
ファン形状最適化によるサイクロ減速機温度上昇の低減	191	9	技術本部 PTC事業部
精密制御用サイクロ減速機 F 4 C-Cシリーズの開発	191	11	PTC事業部
サーボモータ用減速機 新IBシリーズ(大型, 直交シリーズ)の開発	191	13	PTC事業部
パラマックス減速機10シリーズ	191	15	PTC事業部
中国向けIE 3 効率(GB 2 級) モータ	191	16	PTC事業部
チェーンコンベヤ用減速機	191	17	PTC事業部
小型インバータ用パソコン通信ソフトウェア	191	18	PTC事業部
小型インバータ用オプション製品	191	19	PTC事業部
製造, 材料活用, 設計技術の融合による高効率誘導モータの開発	200	1	PTC事業部 技術本部
振動計測によるはすば歯車減速機のかみ合い伝達誤差の推定	200	5	技術本部
精密小型減速機ECYシリーズの開発	200	9	PTC事業部
精密制御用サイクロ減速機F 4 C-DAシリーズの開発	200	11	PTC事業部
分散制御用インバータDF-520シリーズ	200	13	PTC事業部
ギヤモータ状態監視システムの開発	200	15	PTC事業部
ギヤボックスの故障診断	200	19	住友重機械ギヤボックス株式会社 技術本部
シンガポール向けIE 3 効率規制対応モータ	200	21	PTC事業部
BBB-Hシリーズ小型領域への対応	200	22	PTC事業部
プラスチック加工機械			
成形に次の先進性をもたらす SEEV-A	194	1	プラスチック機械事業部
小型射出成形機による型締力 0 tf成形	194	5	プラスチック機械事業部
アップグレーディング, ダウンサイジング SEEV-A-HD	194	9	プラスチック機械事業部
Zero-moldingを利用した最新射出成形機の機能	194	11	プラスチック機械事業部
住友射出成形機のIoT	194	13	プラスチック機械事業部
住友射出成形機のソリューションー1 品質管理パッケージ	194	15	プラスチック機械事業部
住友射出成形機のソリューションー2 生産完了パッケージ	194	17	プラスチック機械事業部
LIM(液状シリコーン樹脂成形)パッケージ	194	19	プラスチック機械事業部
電子機械			
ナノ秒パルスレーザの特長とアプリケーション紹介	199	5	メカトロニクス事業部
エネルギー・環境			
日本における石炭混焼によるバイオマス高効率利用について	197	1	エネルギー環境事業部
持続可能なエネルギー社会の実現に向けて(Sumitomo SHI FW社)	197	5	エネルギー環境事業部
嫌気性処理を活用した再生エネルギー化事例	197	9	住友重機械エンバイロメント株式会社
省エネルギー・省メンテナンス型旋回流式沈砂分離機の開発	197	13	住友重機械エンバイロメント株式会社
耐硫酸性樹脂チェーンフライト式汚泥かき寄せ機 SRノッチ	197	17	住友重機械エンバイロメント株式会社
事業所紹介 ― 熊本阿蘇事業所 ―	197	21	住友重機械エンバイロメント株式会社

題 名	号	頁	執 筆
医療機器・量子機器・精密機器・極低温装置			
X線天文衛星「ASTRO-H」搭載軟X線分光検出器(SXS)冷却系の開発	191	21	産業機器事業部
超電導単一光子システム冷却用小型2KGM冷凍機の開発	191	9	技術本部
高周波プラズマ数値シミュレーション技術開発	192	21	技術本部 住友重機械イオンテクノロジー株式会社
リアルタイム中性子モニタを用いたBNCT用QAシステムの開発	194	27	技術本部
X線天文衛星「ひとみ(ASTRO-H)」搭載軟X線分光検出器の寒剤フリー冷却	199	23	産業機器事業部
CYPRIS HM-10用金属元素放射性核種製造システム	199	21	産業機器事業部
IMPT用患者QAツールの開発	200	23	技術本部
制御システム			
Roll to Roll用高精度エアダンサユニット ADU-ASシリーズ	199	1	メカトロニクス事業部
鍛圧機械・工作機械			
クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F 8 シリーズ	199	17	住友重機械ファインテック株式会社
立軸円テーブル形平面研削盤 SVR80	199	22	住友重機械ファインテック株式会社
精密平面研削盤 KSH-870	199	23	住友重機械ファインテック株式会社
クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F22150(U)	199	24	住友重機械ファインテック株式会社
クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F2560(U)	199	25	住友重機械ファインテック株式会社
運搬荷役機械			
住友の産業用クレーン	192	1	住友重機械搬送システム株式会社
フリーサイズケース自動倉庫	192	9	住友重機械搬送システム株式会社
重錘油圧式200m ³ グラブ浚渫船	192	13	住友重機械搬送システム株式会社
RTGの遠隔自動システム	192	15	住友重機械搬送システム株式会社
通信販売業界向け出荷荷揃えシステム	192	17	住友重機械搬送システム株式会社
対面フェイスピッキング自動倉庫システム	192	19	住友重機械搬送システム株式会社
建設機械・フォークリフト			
新型バッテリー式フォークリフト FB0.9～3.5t	192	21	住友ナコ フォークリフト株式会社
フィールドビューモニター 2 の開発	196	1	技術本部
ー単眼カメラの画像認識による油圧ショベルの周辺確認サポート機能ー			
ICT施工対応油圧ショベル SH200-7 MG・MC仕様	196	7	住友建機株式会社
ホイール式アスファルトフィニッシャー HA60W-10	196	11	住友建機株式会社
350tづりクローラークレーン SCX3500-3	196	13	住友重機械建機クレーン株式会社
バッテリー式フォークリフトの旋回速度制御	196	17	住友ナコ フォークリフト株式会社
その他			
くりこみ群分子動力学法を用いた高分子シミュレーション	194	21	技術本部
非平衡分子動力学法による超音速ノズル流と凝集の解析	196	19	技術本部
STAF(Steel Tube Air Forming)プロセスの開発	196	23	技術本部 産業機器事業部
連続3点式真直度測定システムの開発	199	13	技術本部

住友重機械技報第200号発行に当たり

住友重機械技報第200号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導いただいている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力をいただくよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、さらに充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご意見賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い申し上げます。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては、変更がございましたら裏面の用紙にご記入のうえ、FAXでお知らせいただきたくお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2019年12月

〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先)	(発信元)
住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2358	貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.

住友重機械技報第200号の送付先の確認と読後感などの件		
送 付 先 変 更	(旧送付先)	(新送付先)
	送付番号 _____	送付番号 _____
	組織名称 _____	組織名称 _____
	担当部署 _____ ➡	担当部署 _____
	所在地 _____ 〒 _____	所在地 _____ 〒 _____
新 規 送 付 先	新しい部署ができた場合ご記入下さい。	
	組織名称 _____	
	担当部署 _____	
	所在地 _____	
	〒 _____ 必要部数 _____ 部	
本 号 の 読 後 感 に つ い て	1. 本号で、一番関心を持たれた記事は。	
	2. 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(○印でご記入下さい。)	
	1 興味深かった 2 特に興味なし	
	その理由をお聞かせ下さい。	

主要営業品目

変速機、インバータ

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機，サイクロギヤモータ
アルタックス，精密制御用サイクロ減速機，コンパワー遊星歯車
減速機，[平行軸]パラマックス減速機，ヘリカルパディボックス，
プレストギヤモータ，[直交軸]パラマックス減速機，ハイボニック
減速機，アステロ直交ギヤヘッド，ベベルパディボックス，ラ
イタックス減速機，HEDCON ウォーム減速機，小形ウォーム減速
機 ●変速機：[機械式変速機]バイエル無段変速機，バイエル・
サイクロ可変減速機，[電気式変速機]インバータ，インバータ搭
載ギヤモータ，サーボドライブ，DCドライブ
サイクロ，アルタックス，コンパワー，パラマックス，パディボックス，プレスト，
ハイボニック減速機，アステロ，ライタックス，HEDCON，バイエルおよびバイエル・
サイクロは，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

プラスチック加工機械

●プラスチック加工機械：射出成形機，射出吹込成形機，ディスク
成形機，セラミックス成形機 ●フィルム加工機：押出機，フィルム製
造装置，ラミネート装置 ●IC 封止プレス ●成形システム・金型：
射出成形用金型，PET システム，インジェクションブロー成形シス
テム，インモールドラベリング成形システム

レーザ加工システム

●レーザドリル装置 ●レーザアニーリング装置 ●YAG レーザ
と加工システム

半導体・液晶関連機器

●イオン注入装置 ●成膜装置：(太陽電池，タッチパネル，有機EL
用) プラズマ薄膜形成システム ●精密位置決め装置 XY ステージ
●モーションコーポネント ●ライン駆動用制御システム ●マ
イクロマシン ●レーザアニーリング装置 ●ウエハ研削装置

環境施設

●環境・エネルギー関連プラント：循環流動層(CFB)ボイラ，ロー
タリーキルン式産業廃棄物処理施設 ●大気関連プラント：電気集
塵装置，灰処理装置 ●水関連プラント：上水処理施設，下水処理施
設，浸出水処理施設 ●産業廃水処理装置

加速器，医療機器，精密機器，極低温機器，超電導磁石

●イオン加速器：サイクロトロン，ライナック，シンクロトロン ●電
子線照射装置 ●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIS，
標識化合物合成装置，陽子線治療システム ●冷凍機：パルス
チューブ冷凍機，4KGM 冷凍機，MRI 用冷凍機，クライオポンプ
●人工衛星搭載観測装置冷却システム ●超電導磁石：ヘリウム
フリー超電導マグネット

CYPRIS は，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

物流・パーキングシステム

●自動倉庫システム ●高速自動仕分システム ●FMS/FA シス
テム ●無人搬送システム ●機械式駐車場

金属加工機械

●鍛圧機械：フォーミングプレス，油圧プレス，フォーミングロール，
超高压発生装置 ●工作機械，クーラント処理装置 ●SPS(放電ブ
ラズマ焼結機)

運搬荷役機械

連続式アンローダ，港湾荷役クレーン (コンテナクレーン，タイヤマ
ウント式ジブクレーン，タイヤマウント式LLC)，トランスファクレーン，
ジブクレーン，ゴライアスクレーン，天井クレーン，製鋼クレーン，
自動クレーン，コイル搬送台車，ヤード機器 (スタッカ，リクレーマ，
スタッカ／リクレーマ)，シップローダ，ベルトコンベアおよびコン
ベアシステム，リフティングマグネット装置，コークス炉移動機械

船舶海洋

●船舶：油槽船，石油製品運搬船

化学機械，プラント

●一般プラント：紙・パルプ製造装置，化学装置，原子力装置 ●圧
力容器：リアクタ，塔，槽，熱交換器 ●攪拌混合システム：マック
スブレンダー攪拌槽，スーパーブレンダー (同心2軸型攪拌槽)，バイ
ボラック (横型2軸反応装置)
マックスブレンダーおよびバイボラックは，住友重機械プロセス機器株式会社の登録
商標です。

建設機械，フォークリフト

油圧式ショベル，杭打機，道路舗装機械，クローラクレーン，基礎機械，
フォークリフト

タービン，ポンプ

蒸気タービン，プロセスポンプ

その他

航空用機器，精密鍛造品，防衛装備品 (各種機関銃，機関砲およびシス
テム)

※文章中のソフトウェア等の商標表示は，省略しております。

事業所

本社	〒141-6025	東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)	技術研究所	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地
関西支社	〒530-0005	大阪市北区中之島2丁目3番33号 (大阪三井物産ビル)	技術研究所	〒792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号
中部支社	〒461-0005	名古屋市東区東桜1丁目10番24号 (栄大野ビル)	(新居浜)		
九州支社	〒812-0025	福岡市博多区店屋町8番30号 (博多フコク生命ビル)			
田無製造所	〒188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号			
千葉製造所	〒263-0001	千葉市稲毛区長沼原町731番1号			
横須賀製造所	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地			
名古屋製造所	〒474-8501	愛知県大府市朝日町6丁目1番地			
岡山製造所	〒713-8501	岡山県倉敷市玉島乙島8230番地			
愛媛製造所					
新居浜工場	〒792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号			
西条工場	〒799-1393	愛媛県西条市今在家1501番地			

本号に関するお問い合わせは，技術本部技報編集事務局(電話番号
は下記)宛お願い致します。

住友重機械工業株式会社のホームページ <http://www.shi.co.jp/>

技報編集委員

委 員	見上 孝一	委 員	伊藤 晃
	大西 良孝		阿部 昌博
	平田 徹		岡林 明伸
	井上 千晶		藤本 典之
	梶谷 純平		山田 森夫
	長部 洋介		小住 幸広
	有吉 政博		坂根 剛
	石川 賢治		石倉 武久
	諏訪 義和		蟹 伸章
	鈴木雄一郎		大谷 賢一
		事務局	技術本部
		編集協力	(株)千代田プランニング

住 友 重 機 械 技 報	
第200号 非売品	
2019年12月10日印刷 12月20日発行	
発 行	住友重機械工業株式会社
	〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号
	(ThinkPark Tower)
	お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2306
発 行 人	富田 良幸

