

住友重機械

SHI 

# 技報

Sep.2023

No.211 ISSN 0387-1304

## 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. 211 2023

巻頭言 「PTC 特集号」に寄せて

荒木達朗

## パワートランスミッション・コントロール特集

論文・報告	大型歯車の熱処理ひずみ課題克服	今村哲平, 赤塚寛之	1
	減速機全体構造を考慮した歯車表面の接触応力解析および最適設計手法の開発	門井幸太	7
	円周溝を有する部品の自動寸法検査装置開発	川島 剛	11
技術解説	高速歯車装置の軸受・軸振動解析プログラムの再構築	持田将身	15
	次世代ロボットの創出を加速するアクチュエータパッケージ TUAKA	Sebastian MARKERT	17
	AGV用駆動ユニット smartris の開発	長尾祐樹	19
新製品紹介	精密制御用サイクロ減速機 DA シリーズ 小型枠番追加		22
	ベベル・バディボックス減速機 H シリーズ IE 5 モータ直結タイプ		23

Message for "Special Issue for PTC"

Tatsuro ARAKI

## Special Issue for Power Transmission & Controls

T/PAPERS	Deformation Problem of Large Gear Caused by Heat Treatment Teppei IMAMURA, Hiroyuki AKATSUKA	1
	Development of Tooth Contact Analysis and Optimal Design Method for Tooth Flank Shape Considering Entire Structure of Reducer Kota KADOI	7
	Development of Automated Dimensional Inspection Device for Groove Diameter Machined on Circumference Takeshi KAWASHIMA	11
T/INVITATIONS	Reconfiguration of Analysis Program for Journal Bearing and Rotor Dynamics of High Speed Gearbox Masami MOCHIDA	15
	TUAKA -Actuator Packages to Accelerate Creation of Next-generation Robots- Sebastian MARKERT	17
	Development of smartris for AGV Drive Unit Yuki NAGAO	19
NEW PRODUCTS	Expansion of Small Size in FINE CYCLO DA Series	22
	Bevel BUDDYBOX H Series IE 5 Motor Type	23

## 「PTC 特集号」に寄せて

取締役  
常務執行役員

荒木達朗



世界中に蔓延した新型コロナウイルスがようやく収束しようとしています。未知のウイルスによるパンデミックは、世の中の分断を加速させ、社会や人々の在り方を大きく変化させました。この変化には環境、社会、ガバナンス、いわゆるESGに関わる問題が絡み合っており、戦略的サステナブル投資をどう進めていくのかなど、ステークホルダーから厳しい視線が注がれています。また持続可能な社会の実現という目標に向け、企業としてどのように取り組むのか、その姿勢が問われています。

この目標達成に向け、機械メーカーである当社が注力すべき分野として「環境」「エネルギー」「自動化」が挙げられます。たとえば、動力源としてのモータ、制御、変減速機は、社会生活のあらゆる場面を支え動かしているわけですが、年々増加する世界の省エネルギー需要に対して、高効率なモータを開発し、そこに最適な回転数に制御するインバータを加えて電機制御製品の開発も進めていくことで、我々は持続可能な社会の実現に貢献しようとしています。

高齢化社会が進むなかで、労働人口の減少を背景にした省人化の要求は避けて通れない課題です。自動化や協働ロボットの導入に向けたアクチュエータや、AMRといった自律移動ロボットもサステナブルな社会の実現に貢献できる製品です。重労働や危険を伴う作業、また単調な作業から働く人を解放することで職場の環境が改善されれば、一人ひとりのウェルビーイングな暮らしにつながります。本特集ではアクチュエータTUAKAやAGV/AMR用ドライブソリューションsmartrisの技術に触れながら、社会課題の解決に向けた具体的な製品についてご紹介いたします。

また、メーカーとして製品を社会へ届けるに当たり前提となるのは、高品質な製品を安定して生産し続ける技術力です。本特集では、大型歯車の熱処理における歪み問題を取り上げ、その解析結果と課題の克服事例をご紹介します。さらに、耐久試験で損傷した歯車の事例をもとに、減速機構造全体を考慮した歯当たり解析から原因を推定し、損傷防止設計を提案いたします。

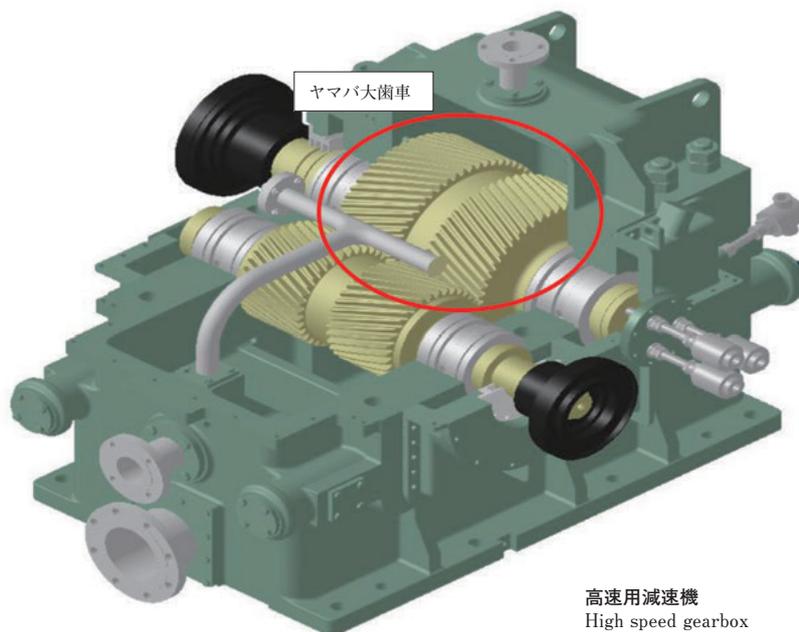
本特集号の内容が少しでも皆様のお役に立つことができれば幸甚です。

※ 「TUAKA」および「smartris」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

# 大型歯車の熱処理ひずみ課題克服

## Deformation Problem of Large Gear Caused by Heat Treatment

●今村 哲平\* 赤塚 寛之\*\*  
 Tepei IMAMURA Hiroyuki AKATSUKA



浸炭焼入れでは、一般的に処理前後の浸炭箇所(主に歯部)の想定外な寸法変化が問題となる。歯車を製作する場合、仕上げ代(浸炭焼入れ後の仕上げ加工による取り代)を見積もるため、特に歯先径の寸法変化を正確に予測したうえで製作に臨むことが重要である。しかし、当社ではその事前予測については従来より社外熱処理メーカーに依存していたので、稀に予測が外れてしまったときには、原因究明が困難であった。重要工程でありながら、自社で寸法変化の予測ができないことは問題であり、その解決が第1の課題であった。その後、浸炭焼入れ前後の歯先径変化率データを約3年間蓄積し、等価直径の指標を適用した結果、歯先径変化率と等価直径の間に一定の相関関係を見出すことができた。これにより自社での寸法変化の予測手段を確立した。しかし、この手段により予測される寸法変化率のばらつきは大きかった。そこで、予測精度をさらに向上させるべく、ばらつきそのものを低減させることが第2の課題となった。第2の課題の解決を目的として、ばらつきの要因を調査し熱処理シミュレーション、要素試験によるメカニズム検証および熱処理メーカーでの各種試験などを重ねた。その結果、浸炭空冷再加熱焼入れ方式における空冷プロセスの再加熱開始温度の適正化によりばらつきの低減を達成し、寸法変化の予測精度のさらなる向上につなげることができたので紹介する。

Carburizing and quenching of gears may lead to unexpected dimensional changes, and it is important to be able to accurately predict these changes prior to manufacturing in order to estimate the finishing allowance. Without the capability to predict dimensional changes in-house, we have mostly relied on heat-treating companies to predict the dimensional changes. Occasionally, however, the actual deformation results differed from the prediction, and the need for a more accurate prediction method was recognized. After three years of collecting in-house data on tooth tip diameter changes in gears before and after carburizing and quenching processes, and applying the equivalent diameter index, we were able to establish a correlation between the tooth tip diameter changes and the equivalent diameter. This provided the basis for predicting the dimensional changes in-house. However, the actual deviation from the predicted the dimensional changes with the current method was large and needed to be minimized to further improve the prediction accuracy. In this paper, we investigated the factors influencing the deviation, verified the deviation mechanism by heat treatment simulations. By optimizing the intermediate air cooling process prior to quenching, a reduction in the deviation of the dimensional changes was achieved, leading to a further improvement in the dimensional change prediction accuracy.

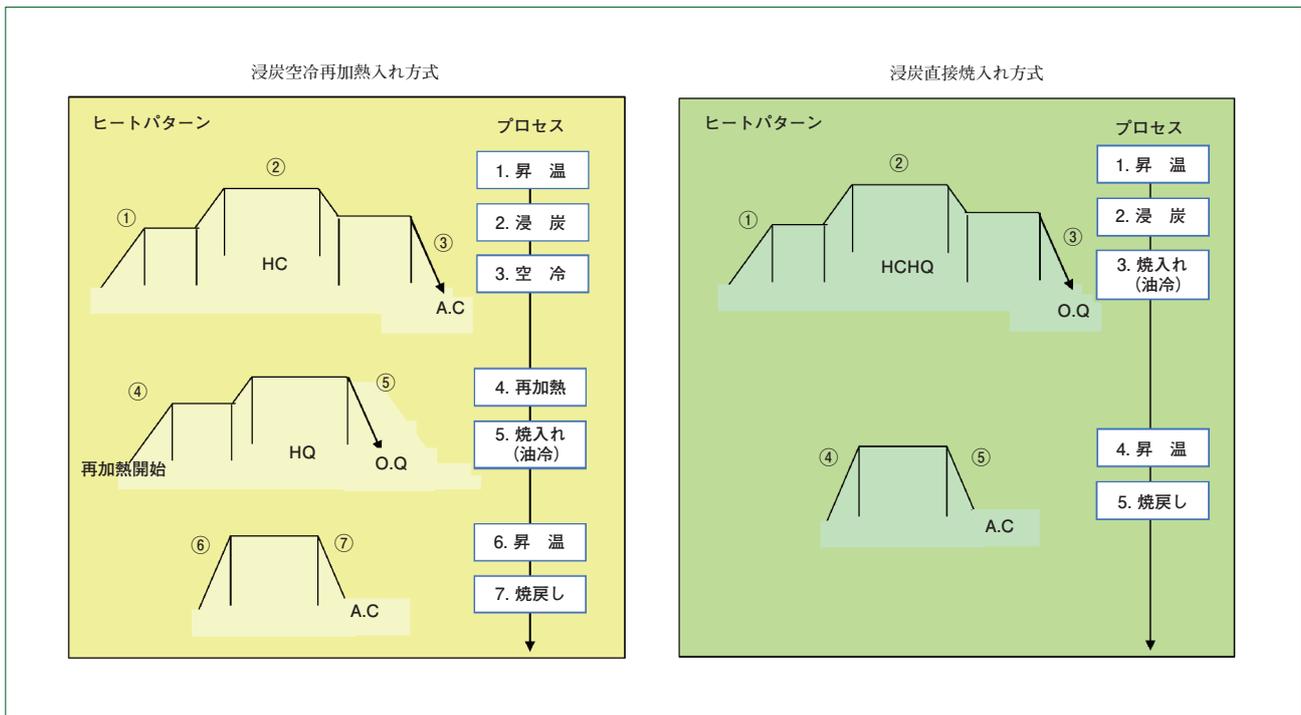


図1 浸炭焼入れ処理方式およびそれぞれのプロセス  
Carburizing and quenching treatment methods and their respective processes

## 1 まえがき

高速増減速機は、ほかの産業用の増減速機と異なり高減速比設計である。このことから、大歯車の歯のモジュールは小さく、歯数が多い設計となっており、全般的に小モジュールで大型径である。同じ歯先径でモジュールが異なる浸炭歯車同士で比較した場合、浸炭焼入れ後の歯先径の寸法変化量が同じであっても、小モジュールである方が歯型が受ける寸法変化の影響度は大きい。つまり、高速増減速機用の小モジュールの大歯車の場合、もし寸法変化の予測外れが起きたときには、歯先径は最終寸法までの仕上げ代により仕上げることができたとしても、歯面および歯底はその寸法変化量によっては正規歯型に仕上がらなくなるリスクが高いことを意味している。また、仕上げ代過多により歯面、歯元、歯底などの研削仕上げ後に必要とされる浸炭深さが不足してしまうというリスクもある。これらのリスク回避にはその寸法変化を精度良く予測して適切な仕上げ代をあらかじめ見積もる必要がある。

そこで当社がまず取り組んだのは、高速増減速機用歯車のなかで製作機会の多いヤマバ大歯車を対象に、自社による寸法変化の予測手段を確立することである。なお、歯車の寸法変化としては、主に歯先径、マタギ歯厚、歯底径などを考慮する必要があるが、歯先径の寸法変化率によりマタギ歯厚や歯底径の寸法変化率を計算で類推できることもあり、この取り組みでは歯先径変化率のみを寸法変化の指標として扱った。

本報における歯先径変化率は、浸炭焼入れ後に同一箇所測定した歯先径の寸法差を、処理前の歯先径で除した値を指す。

## 2 歯先径変化率の予測手法

2013年から、データによる歯先径変化率の予測手段を確立することを目的としてデータ蓄積を開始した。約1年間、データを蓄積した後に分析を行ったが、寸法変化に影響すると考えられる因子が多く、製作されるヤマバ大歯車形状も一品一様であることから、蓄積したデータに対して重回帰分析を繰り返しても寄与率の高い相関関係は得られなかった。ただ「質量効果の影響を受けていそうである」というおおまかな傾向は見ていたことから、データの蓄積を継続しつつ一品一様の歯車の形状および寸法を規格化する方法がないか調査を進めるなかで、2016年頃にイギリスの規格BSI 5046: March1974に等価直径という指標があることを確認した。歯車は、その歯先径、内径、厚みの寸法から表面積および重量を算出することができる。等価直径は、これらの算出値を直径換算した指標である。歯先径変化率の蓄積データへ等価直径を適用することにより、歯先径変化率と等価直径の間に相関関係を見出すことができた。

次の①～⑥のステップにより、自社での歯先径変化率の予測が可能となった。

- ① 製作する歯車に用いる鋼材のミルシートの確認  
化学成分、結晶粒度より理想臨界直径を算出する。
- ② 処理する熱処理メーカーの確認  
熱処理メーカーの設備能力、焼入れ能の違いを考慮する。
- ③ 浸炭焼入れ処理方式の確認  
浸炭空冷再加熱焼入れ方式(図1左)、浸炭直接焼入れ方式(図1右)の2種のうちどちらの方式で処理されるか

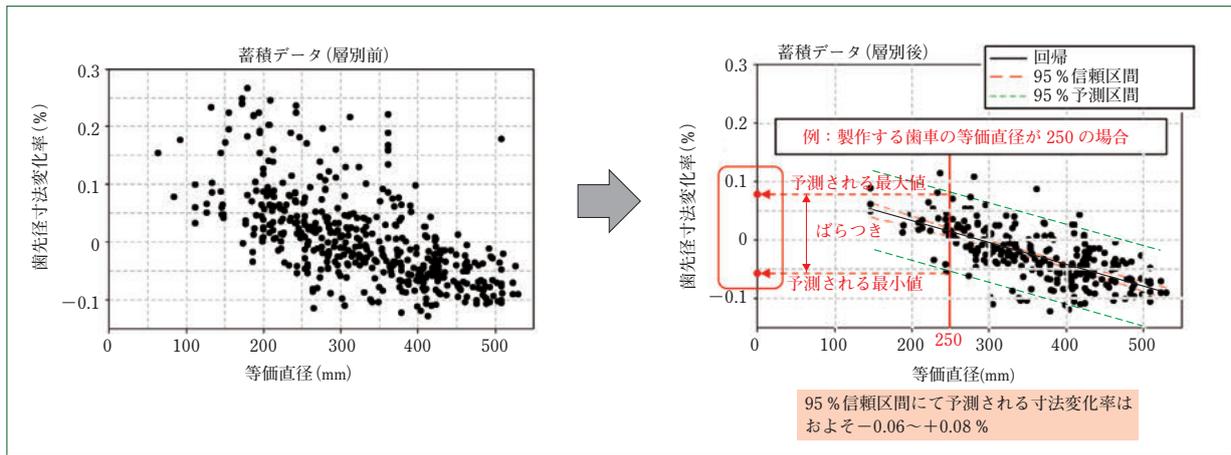


図2 歯先径寸法変化率と等価直径の関係  
Relationship between dimensional changes of tooth tip diameter and equivalent diameter

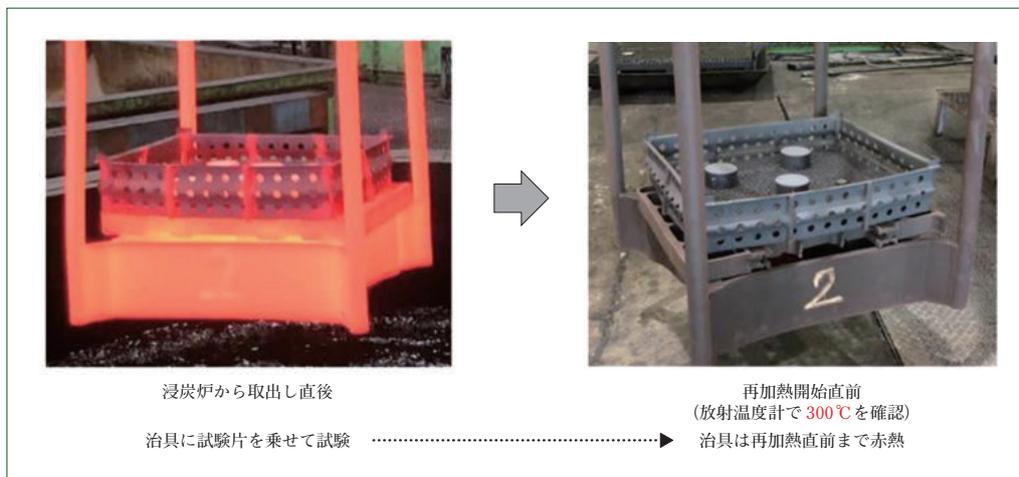


図3 空冷プロセス中の試験片および治具の様子  
Specimen and fixture during air cooling process

を確認する。

- ④ ①～③の手順により、歯先径変化率の蓄積データを層別
- ⑤ BSI 5046 : March1974の記載内容に従って、製作する歯車の等価直径を算出
- ⑥ 層別された歯先径変化率の蓄積データを等価直径と照合

図2に、ヤマバ大歯車の歯先径変化率と等価直径の関係の一例を示す。なお、ここでは蓄積データを層別する過程については省略する。浸炭焼入れしようとする歯車について、過去に浸炭焼入れされた複数の同等形状歯車における歯先径寸法変化率のデータとの照合を可能にすることで、浸炭焼入れ後の歯先径変化率を推定することが可能となった。ひとまず第1の課題であった自社での寸法変化率の予測はできるようになったが、予測結果として示される複数の歯先径変化率のデータのうち、最小値と最大値の差は発生しうる寸法変化のばらつきを表しており、その値の大きさは予測精度が高くないことを示すものであった。あらかじめ浸炭焼入れ後の寸法変化率のばらつきを大きく想定して製作に臨むことは、想定

される寸法変化率の大きさに応じた仕上げ代を必要とし、併せて浸炭深さも仕上げ代分多く付して処理しておく必要があり、品質の確保のためとはいえ、製作上のムダも抱えることになっていた。このことから歯先径変化率のばらつき低減が次の課題となった。

### 3 歯先径変化率のばらつき低減の実施内容

ヤマバ大歯車の浸炭焼入れ処理方式としては、結晶粒度粗大化リスクを低減させることを目的として、主に浸炭空冷再加熱焼入れ方式が採用されている。この方式のプロセスのなかで歯先径変化率のばらつき発生の要因を探るべく、各種検証を実施した。

#### 3.1 変形メカニズム

熱処理による寸法変化が生じる原因として、熱膨張・熱収縮で生じる熱ひずみと相変態で生じる変態ひずみの影響が挙げられる。これらのひずみは直接的に寸法変化に影響を及ぼす。一方でひずみの分布により熱応力と変態応力が発生すると、さらなるひずみが生じる。こうした現象は温度が変化することで生じることから、対象とするワークの温度管理が重

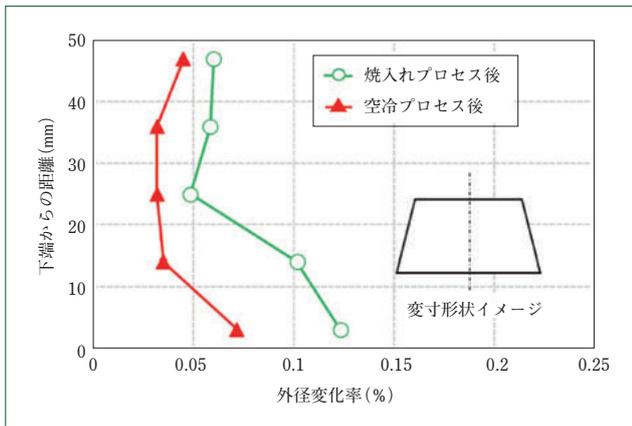


図4 焼入れプロセス後および空冷プロセス後の試験片の外径寸法変化率  
Dimensional changes of specimens after quenching and air cooling processes

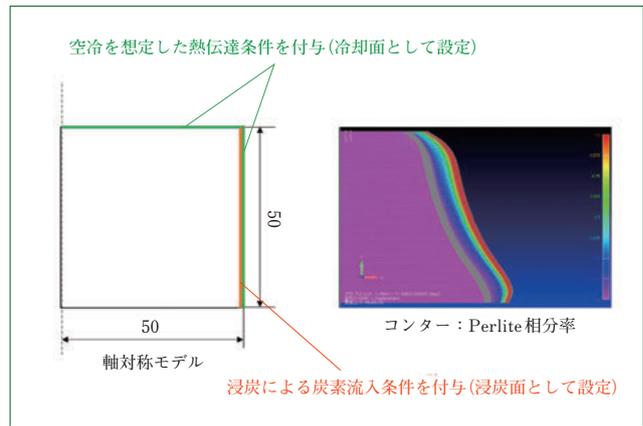


図5 解析のモデル化方法および空冷プロセス後の寸法変化予測結果  
Model for numerical analysis and results of predicting dimensional changes after air cooling process

要となる。

### 3.2 ヤマバ大歯車の浸炭焼入れプロセス

ヤマバ大歯車の製作において同一形状品を複数個製作することがあり、歯先径が1mを超えるような大型サイズの場合は処理ロットを分けて浸炭焼入れされる。そのとき処理ロット間で歯先径変化率のばらつきが大きい場合がある。寸法変化のばらつきへの対策を検討する場合、特に熱処理ロット間の冷却速度差に着目する必要がある。これは熱ひずみ、変態ひずみ、熱応力、変態応力の大きさや生じるタイミングが冷却速度の影響を受けることによる。浸炭空冷再加熱焼入れ方式においては冷却速度の管理が難しいプロセスとして浸炭後の空冷および焼入れ中の油冷が挙げられるが、我々は歯先径変化率のばらつき低減を狙うに当たり、浸炭後の空冷プロセスに注目した。空冷プロセスを含まない浸炭直接焼入れ方式による寸法変化率データと比較すると、浸炭空冷再加熱焼入れ方式のばらつきの方が明らかに大きいことがその理由である。空冷プロセスでは、焼入れプロセスへの移行基準となる再加熱開始温度の確認を目的として、放射温度計による温度測定を適宜行う。ところが、ヤマバ大歯車の形状は一品一様で、歯車各部位の温度履歴は歯車形状ごとに一様ではないことから、歯車のどの部位で再加熱開始温度を決定すべきか判断が難しい。また、生産性の観点から、重量の大きい歯車全体の温度を外気温に下げきる前に再加熱したいので、歯車内に温度勾配がある状態で焼入れプロセスへ移行される。こうした状況から冷却速度の管理が難しく、これが理由でヤマバ大歯車の歯先径変化率のばらつきが大きくなっているものと考えた。

### 3.3 空冷プロセスにおける寸法変化メカニズム

簡易的な実験で浸炭空冷再加熱焼入れ方式における空冷プロセスの寸法変化メカニズムを検証した結果を説明する。図3に、空冷プロセス中の試験片の様子を示す。試験片を積載した治具を炉から搬出した直後の赤熱した状態(左)と、試験片温度が300℃に下がった状態(右)である。試験片の側面温度が300℃に下がったことを確認した後に再加熱されるが、治具の一部の温度が下がっておらず、治具と接している試験片の下端面近傍と外気にさらされている上端面近傍では温度

差があることが推測される。図4に、ヤマバ大歯車と同様の浸炭空冷再加熱焼入れ方式で処理した円柱試験片(φ100×L50)の外径寸法測定結果から算出した外径変化率を示す。グラフは浸炭空冷再加熱焼入れにおける焼入れプロセス後および空冷プロセス後の結果である。この結果から、焼入れプロセス後の方が外径変化率は大きいことが分かる。一方で軸方向に対する寸法変化の傾向はどちらも同様であり、上端面近傍の外径よりも下端面近傍の方がより膨張した形状となっている。焼入れ後の寸法変化の傾向が空冷プロセス後と同様であることから、空冷プロセス後、つまり再加熱開始時の外径寸法は浸炭空冷再加熱焼入れの最終外径寸法に影響を及ぼしているものと考えられる。空冷プロセスを含まない浸炭直接焼入れにおいても同様の試験を行ったが、浸炭焼入れ後にこのような変化は認められなかった。したがって、外径寸法の変化は空冷プロセスを経ることで生じているものと考えられる。

### 3.4 熱処理シミュレーションによる検証

図5に、浸炭空冷再加熱焼入れ方式における空冷までのプロセスを模擬した熱処理シミュレーションソフト(FINAS/STAR TPS Edition)<sup>(1)</sup>によるモデル化方法および解析結果を示す。モデルは軸対称とし、熱伝達条件(熱伝達率)は空冷の冷却曲線から算出したものを上端面および側面に与えた<sup>(2)</sup>。下端面には熱伝達率を与えず、接する治具の熱影響により冷却されにくい空冷プロセスの状況を簡易的に再現した。また、上下端面は実際のプロセスを模擬し、ヤマバ大歯車の浸炭処理時と同様に試験片には防炭剤を塗布しており、解析でも上下端面からの炭素流入はないものとした。これらの条件下で解析した結果、実験結果と同様の寸法変化が示された。解析結果の外径寸法において、上端面近傍と下端面近傍に膨張量の差が認められるが、この差は熱伝達率の与え方からも明らかのように、試験片内の冷却速度差に起因しているものと考えられる。

熱処理シミュレーション結果から、冷却速度差が寸法変化に及ぼす影響を分析した。図6に、空冷プロセス途中の温度分布および各相の相分率の解析結果を示す。この結果から、冷却速度差により試験片内の温度および相分率に分布が認め

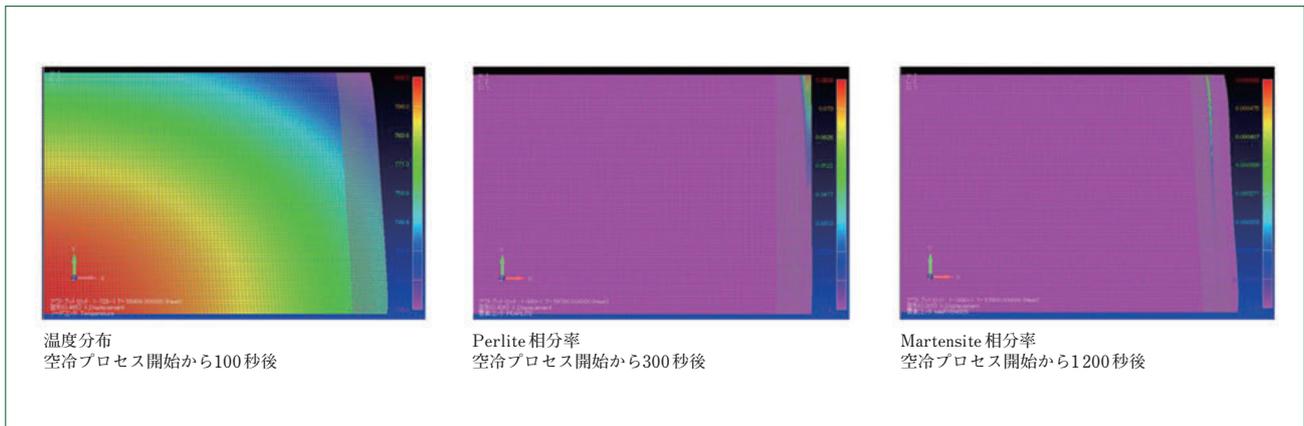


図6 熱処理シミュレーションによる解析結果  
Results of heat treatment simulation

られ、熱応力と変態応力が発生することで寸法変化が生じている。なお、相分率においてマルテンサイト変態が最表面よりも内部に生じるのは、浸炭による炭素濃度分布により深さ方向に相変態挙動の差があること、そして空冷による深さ方向の冷却速度差があることに起因している。ヤマバ大歯車においても、治具や歯車形状の影響により温度および相分率の分布が生じているものと推察され、比較的冷却速度の遅い空冷プロセスにおいても、熱応力と変態応力による寸法変化が生じているものと考えられる。また、実験結果と同様に空冷プロセス後の外径寸法が次プロセスである焼入れプロセス後の外径寸法に影響を及ぼしているものと推察される。一方で、ヤマバ大歯車の歯先径変化率のばらつき低減においては、前述した空冷プロセス後の再加熱温度と相分率の温度分布による寸法変化率を熱処理ロット間でそろえるといった対策が必要となる。

### 3.5 空冷プロセスの再加熱開始温度の最適化

浸炭空冷再加熱焼入れ方式における再過熱開始温度の最適化に関する取組みでは、ヤマバ大歯車が一品一様で形状を統一できないこと、また、現場での厳密な冷却速度の管理が困難であることを制約条件に、再加熱開始温度の低温化を対策として挙げ、検証を試みた。再加熱開始温度低温化の狙いとして、再加熱開始時の歯車内の温度勾配を小さくすることと相変態を進行させることが挙げられる。これにより、熱ひずみおよび変態ひずみの発生による寸法変化過程の複雑な現象を、ある程度収束させた状態で次プロセスである焼入れに移行できる。つまり、空冷プロセスから焼入れプロセスへ移行する再加熱開始時の寸法変化率をある程度そろえることが可能となる。

また、寸法変化に大きな影響を与えるマルテンサイト変態の観点からも再加熱開始温度を選定する必要があると考える。現状では再加熱開始温度は300℃が基準となっており、この温度は浸炭層のマルテンサイト変態開始点に相当する。ヤマバ大歯車の歯のモジュールは比較的小さく、マルテンサイト変態が多少生じるとした場合、マルテンサイト変態の有無で変態ひずみ、ひいては変態応力に大きな差が生じる。したがって、浸炭層のマルテンサイト変態開始点を考慮した再加熱

開始温度の選定が必要であると考えられる。具体的には、再加熱開始温度を浸炭層で考え得るマルテンサイト変態開始点以下とし、マルテンサイト変態の開始を促すよう検討した。

空冷プロセスにおける歯車温度の下限は外気温であり、理想としては歯車全体の温度を均一に外気温まで下げた後、焼入れプロセスに移行したい。しかし、3.2で述べたように、生産性を考慮すると歯車温度を外気温まで下げる前に再加熱を開始することが望ましい。したがって、本取組みでは、再加熱開始温度と歯先径変化率の関係を調査し、生産性を考慮したうえで再加熱開始温度の適正化を試みた。検証は、再加熱開始温度3水準(現状の再加熱開始温度である300℃、下限である外気温(約20℃)、その中間であり浸炭層のマルテンサイト変態開始点よりも低いと推察される150℃<sup>(3)</sup>)に対するヤマバ大歯車の浸炭空冷再加熱焼入れ前後の歯先径変化率のばらつきを評価した。300℃のデータに関しては、これまでの生産データ40件を引用した。150℃および外気温のデータに関しては、それぞれ5件ずつ試験を実施しデータを取得した。なお、本検証では、生産プロセス同様に、いずれかの歯部の表面温度が再加熱開始温度まで下がった時点で次プロセスへ移行したので、再加熱開始温度を外気温とした結果については歯車全体が外気温となっているわけではない。

図7に、再加熱開始温度に対する歯先径変化率をボックスプロットで示す。現状の仕様である再加熱開始温度の300℃に対して、150℃および外気温では歯先径変化率ばらつきが1/3以下に低減されることを確認した。また、この結果から再加熱開始温度が低いほど歯先径変化率の平均値が大きいことが分かる。マルテンサイト変態は温度低下とともに進行することから、これは各再加熱開始温度によるマルテンサイト変態率の差を反映しているという可能性がある。また、空冷プロセス中の歯車温度に対する歯車内の温度勾配を調査した。図8に、歯車温度300℃および150℃のときの歯車内温度測定結果をボックスプロットで示す。本データはヤマバ大歯車2個に対して、各温度でそれぞれ12カ所を測定した結果である。測定箇所は歯部である。このデータから歯車温度により歯車内の温度勾配の差が認められ、150℃の方が温度勾配は小さいことが確認された。

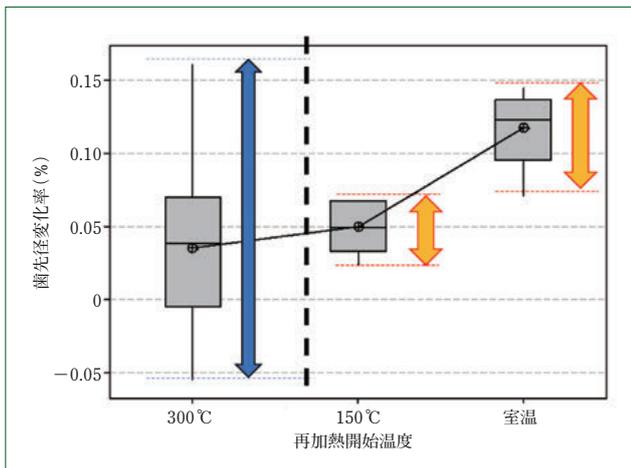


図7 歯先径変化率に及ぼす再加熱開始温度の影響  
Effect of reheat start temperature on dimensional changes of tooth tip diameter

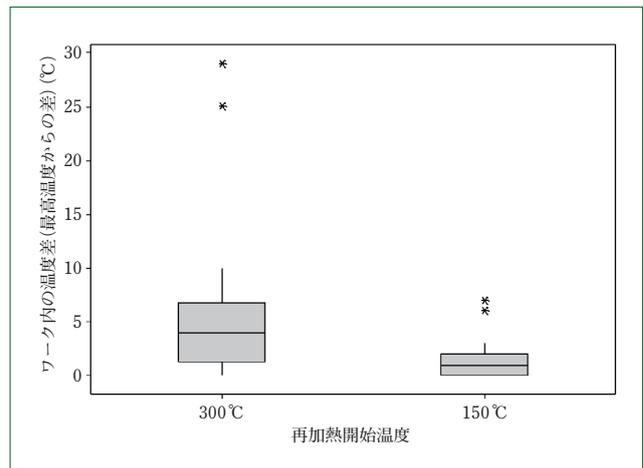


図8 空冷プロセス中の歯車内の温度ばらつき  
Temperature variation in gears during air cooling process

これらの結果から、浸炭空冷再加熱焼入れされるヤマバ大歯車に対して、歯車内の温度および相変態の分布の観点から、再加熱開始温度を150℃以下にすることで歯先径変化率ばらつきの低減が図れると結論付けた。再加熱開始温度を150℃に限定すれば、さらに歯先径変化率のばらつき低減が図れるが、150℃以下でも十分な生産性改善が見込まれることが示され、現場での温度管理状況や作業効率も考慮して再加熱開始温度に範囲を設けることとした。なお、本報では紹介しなかったが、歯先径変化率のばらつきの因子として、焼入れ時のワーク姿勢や治具による油流れの影響も挙げられる。この影響については、寸法変化率の平均値問題として扱い、本取組みでも利用した熱処理シミュレーションを活用し、寸法変化メカニズムを分析中である。

## 4 むすび

本報では、蓄積した歯先径変化率のデータに等価直径の指標を適用することにより、自社で確立した浸炭焼入れ後の寸法変化率の予測手段について解説した。また、浸炭空冷再加熱焼入れ方式における空冷プロセスの再加熱開始温度の適正化により歯先径変化率のばらつき低減を実現したことで、寸法変化のさらなる予測精度向上を実現した事例をそれぞれ紹介した。

- (1) これまでに蓄積した歯先径変化率データに等価直径を適用し、相関関係を確認した。このことにより、自社で歯先径変化率の予測ができるようになった。
- (2) 歯先径変化率が予測できたことにより、自社でマタギ歯厚、歯底径など含めた寸法変化率を予測することも可能になった。
- (3) 浸炭空冷再加熱焼入れ方式の熱処理プロセスにおいて各種実験を重ね、浸炭空冷再加熱開始温度管理の適正化による浸炭焼入れ後の歯先径変化率のばらつき低減効果を確認した。
- (4) 歯先径寸法変化率のばらつき低減により、歯先径寸法変化率と等価直径の相関関係の寄与率が高くなる方に作用し、その結果、さらなる寸法変化率の予測精度向上に

つなげることができた。

- (5) 今後は、空冷プロセスの新たな再加熱開始温度管理基準による運用や、運用後のデータの再構築と予測式の再計算を行い、さらなる寸法変化率の予測精度向上につなげていく所存である。

### (参考文献)

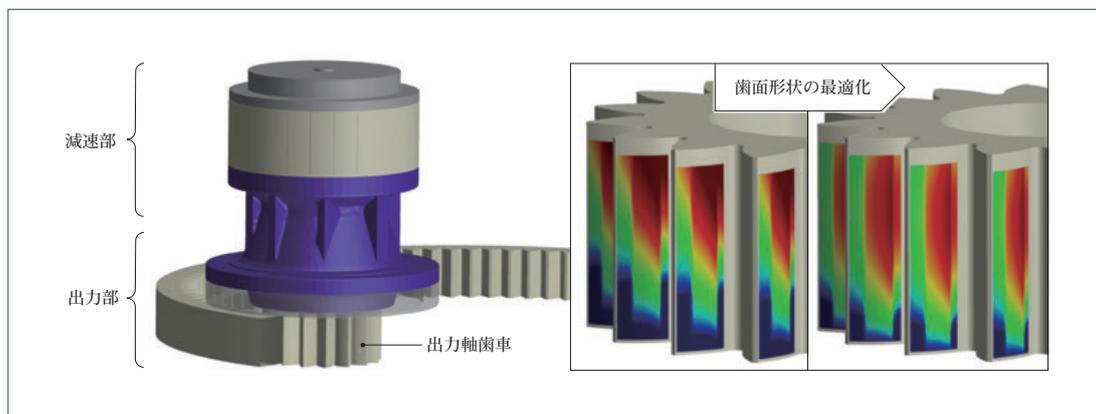
- (1) 渡邊陽一, 熱処理シミュレーション利用の現状と将来動向, SOKEIZAI, Vol.55, No2 (2014), p.42-49.
- (2) 赤塚寛之, 筑後了治, 奈良崎道治, 浸炭したジョミニ試験片を用いた浸炭焼入れ品の硬さ予測データ取得方法, 熱処理, 58巻, 2004号, (2018), p.164-168.
- (3) 牧正志, 鉄鋼の相変態 マルテンサイト変態編 I, まてりあ, 第54巻, 第11号 (2015), p.557-563.

※「FINAS」は、伊藤忠テクノソリューションズ株式会社の登録商標または商標です。

# 減速機全体構造を考慮した歯車表面の接触応力解析および最適設計手法の開発

## Development of Tooth Contact Analysis and Optimal Design Method for Tooth Flank Shape Considering Entire Structure of Reducer

●門 井 幸 太\*  
Kota KADOI



歯当たり解析モデルおよび歯面形状の最適化  
Model of tooth contact analysis and optimization of tooth flank shape

歯面間の偏差(ミスアライメント)は部品の隙間や加工誤差, 組立て誤差などで少なからず発生し, 歯面接触応力の増大を招き, 歯面損傷につながる場合もある。ミスアライメントによる接触応力の増大を防ぐには一般的に歯面修整が適用されるが, 複雑な減速装置になるほど適切な修整量を定めることが難しくなる。そこで修整量の適切な設計に向け, 設計の妥当性を検証する方法と歯面形状の最適設計手法が必要とされる。本開発では, まず社内耐久試験で評価された種々の隙間や加工誤差を含む減速機を対象として, 減速機構造全体を考慮した歯面接触応力解析モデルを構築した。モデルを用いた解析による接触応力分布を試験後の歯面接触状態と比較し, よく一致することが確認された。構築された解析モデルと品質工学の2段階設計を組み合わせることで歯面形状の最適化を行い, ミスアライメントや負荷トルク条件に対して接触応力を低減できることを明らかにした。

The misalignment between tooth flanks due to the clearance between parts, manufacturing errors or assembly errors causes an increase in tooth contact stress, which may lead to tooth flank failure. The tooth flank modification is generally applied to reduce the influence of the misalignment, but it is difficult to design appropriate amount of the modification in more complicated reducers. Therefore, the method of the design validation and the optimal design method of the tooth flank shape are needed. In this paper, the simulation model of the tooth contact analysis considering the entire structure of the reducer was built for a reducer which had undergone an endurance test in-house. The tooth contact distributions of analysis result were confirmed to be in good agreement with the gear tooth after the endurance test. Optimization of the tooth flank shape was performed by combining the analysis model of the reducer and two step design in quality engineering. The results were confirmed that the optimization method can decrease contact stress against misalignment and load torque condition.

### 1 まえがき

歯車減速機の主要な技術課題の一つとしてトルク密度(出力トルク/重量)の向上がある。その方策の一つとして重量の低減, たとえば減速機部品の小型化, 減速機ケースの薄肉化や材料変更(鋳鉄からアルミなど)があるが, 剛性低下を伴う設計変更になる場合が多い。一方, 剛性が低下することで外部負荷による歯車のミスアライメントが増大し, 歯車表面の接触応力の増加, ひいては表面損傷につながる場合もある。その未然防止のために歯車の強度設計技術にはさらなる高度化が求められている。

歯車表面強度の評価指標には, 一般的に歯面接触応力が用いられる。接触応力の評価の際には歯車諸元のほかに構成部品や運転条件, 運転環境などを考慮する必要がある, 特に歯車表面ではミスアライメントが重要となる。歯面のミスアライメントは歯車を支持する部品の隙間, 加工誤差, 組立て誤差などが要因となって発生し, 歯の片当たりや接触応力の増大を引き起こす。設計者はこれを防ぐべく, 歯すじ形状の全部あるいは一部を曲線や直線として設計する歯面修整を行う(図1)。この修整形状は, ミスアライメントによる片当たりが生じないように設計する必要があることから, 減速機全体を促えたミスアライメントに対する歯面設計が重要になる。

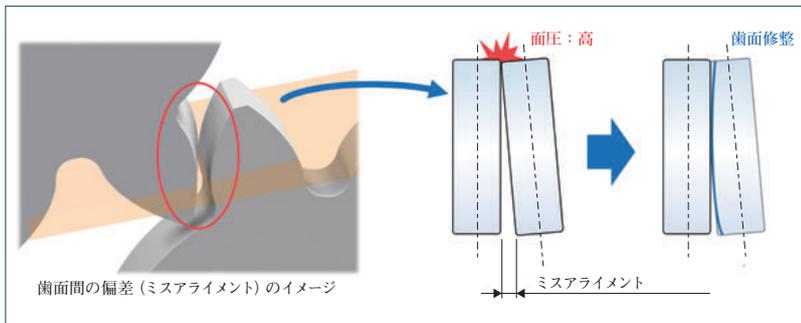


図1 ミスアライメントと歯面修整  
Misalignment and tooth flank modification

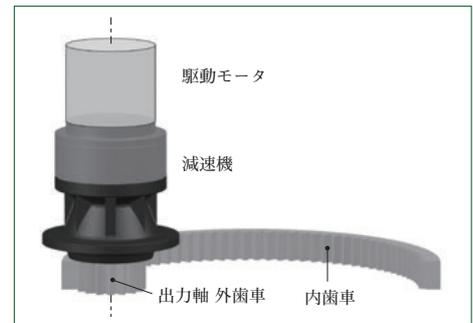


図2 減速機全体構造を含めたシミュレーションモデル  
Simulation model considering entire structure of reducer

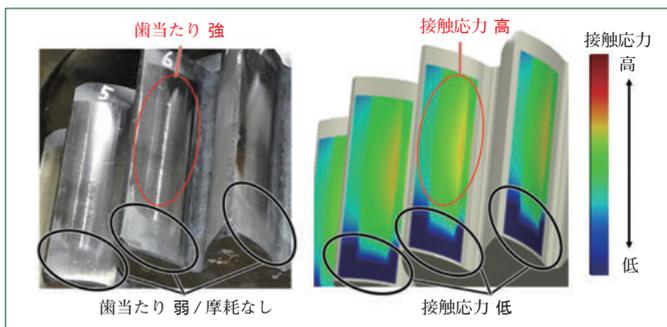


図3 定常負荷条件における耐久試験後の歯面と解析結果の比較  
Comparison between tooth flank after an endurance test and analysis result on steady load condition

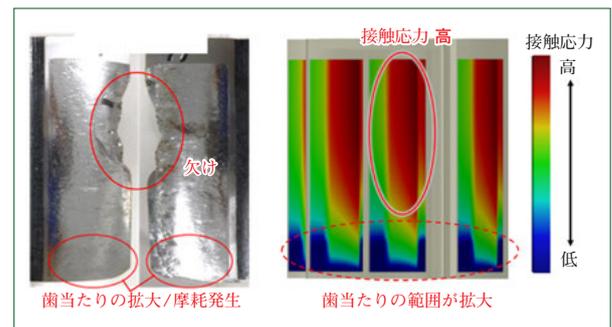


図4 ピーク負荷条件における耐久試験後の歯面と解析結果の比較  
Comparison between tooth flank after an endurance test and analysis result on peak load condition

一般的に接触応力の計算はISO規格<sup>1)</sup>やJGMA規格<sup>2)</sup>を使用する場合が多く、歯の片当たりや歯面修整による歯面荷重の増加に対しては係数を乗じて補正するのみである。しかし減速機全体構造におけるミスアライメントを考慮した応力評価や、歯面の詳細な接触状態(歯当たり範囲、分布荷重など)を評価するには、さらに詳細な計算手法が必要となる。また、複雑な減速機構になるほど設計段階での歯面修整の検証や運転条件による影響の把握は困難になり、妥当性検証は実機試験に依存する傾向にある。さらに、運転条件や環境の変化の検討が不十分であると、原因特定が困難な損傷が発生する場合もある。

これらのことから、設計段階で利用可能な減速機全体を考慮した歯面の接触応力解析手法が必要である。本開発では、まず、歯車だけでなく軸、軸受、減速機ケースといった減速機全体構造まで含めたシミュレーションモデルを構築した。次に、社内耐久試験において損傷した歯車を対象として、構築したモデルを用いた歯車表面の接触応力解析を実施し、損傷要因について検証した。さらに、構築したモデルに品質工学の手法を組み合わせることで、ミスアライメントに対してロバストとなる歯面形状の最適設計を実施した。

## 2 歯車表面の接触応力解析と損傷原因の推定

接触応力解析は、社内耐久試験において歯面が損傷した歯車を対象に進めた。図2に、社内耐久試験の負荷条件を模擬したシミュレーションモデルを示す。本モデルは減速機を駆動するモータ、減速機、負荷側からのトルクが作用する内歯

車により構成される。

社内耐久試験を定常負荷条件およびピーク負荷条件の2条件で実施したところ、図3左および図4左に示すように試験後の出力軸外歯車において表面状態に違いが生じた。すなわち定常負荷条件では損傷が生じなかったのに対し、ピーク負荷条件では歯先の欠けといった損傷や、歯当たりの拡大および摩耗が発生した。2章では、歯面の接触応力解析をもとにピーク負荷条件で歯面が損傷した要因について検討した結果を述べる。

### 2.1 減速機全体構造モデルの作成

作成したシミュレーションモデルは種々の部品を含む。実態に則した歯当たりを再現すべく、各部品の諸元は実寸法もしくは許容差寸法を考慮できるようにし、変形の影響が大きいと想定される減速機ケースなどは有限要素モデルを用いた。

### 2.2 解析結果とモデルの妥当性

接触応力解析の入力条件および境界条件は、社内耐久試験を模擬して設定した。解析の対象は、減速機の出力軸外歯車とその相手内歯車、減速機内部歯車とした。本報では、主に出力軸外歯車の解析について述べる。

シミュレーションモデルの妥当性検証のために、定常負荷条件における試験終了後の歯面写真と接触応力解析の結果を比較した(図3 カラーコンターは接触応力)。歯面写真において、鏡面のように摩耗した歯当たりが強い箇所に対し、解析結果も同様に接触応力が比較的高くなっている。また、歯当たり範囲もおおむね一致していることが確認され、構築したシミュレーションモデルは実現象の検証モデルとして妥当であると考えられる。

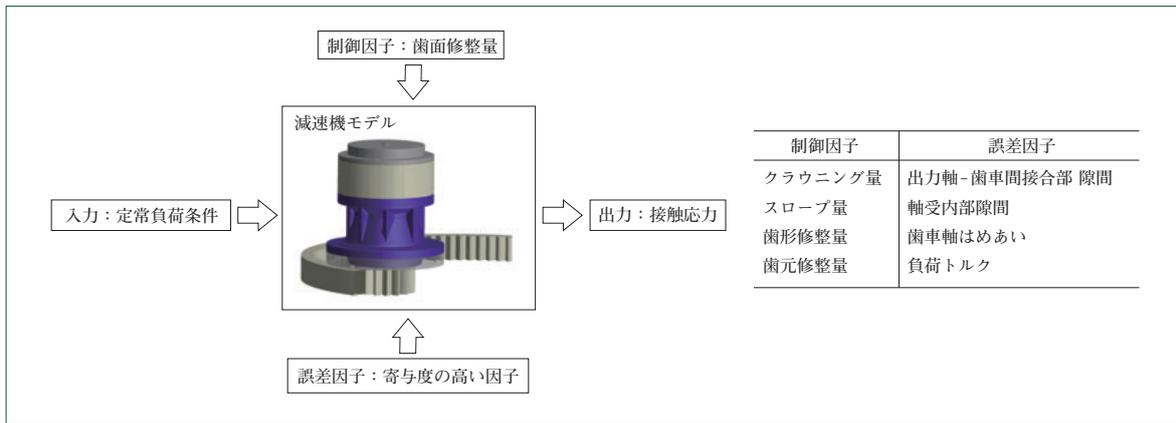
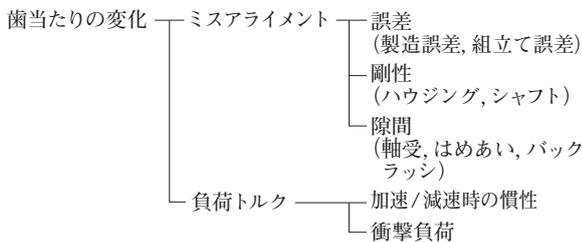


図5 システムチャートおよび因子  
System chart and factors

### 2.3 損傷要因の推定

次にピーク負荷条件での損傷要因を検討した。図4左のピーク負荷条件での歯面写真では、歯当たりの面積が拡大し歯面損傷が生じている。そこで、構築したシミュレーションモデルを評価検証ツールとして要因分析を行った。

歯当たりを大きく変える要因は、かみ合い部に生じるミスアライメントと歯車に負荷されるトルクに大別される(下図参照)。



定常負荷条件およびピーク負荷条件の試験で同一の減速機を用いて試験していることから、誤差や剛性、隙間も同一であり、ミスアライメント依存の要因による歯当たりへの影響は小さいと推察される。実際、シミュレーションモデルによる接触応力解析の結果(別途検討)からも、ミスアライメントについては影響が小さいことが確認された。

一方、負荷トルク依存については、ピーク負荷条件では定常負荷条件に対して最大で2倍以上の負荷トルクが作用することが想定され、その状態を模擬した条件で接触応力解析を実施した。図4右に、接触応力解析の結果を示す。定常負荷条件を想定した解析結果(図3右)と比較し、歯当たり範囲が歯面下部まで拡大しており、ピーク負荷条件での歯面写真とよく一致することが確認された。これにより、ピーク負荷条件において定常負荷条件の2倍以上の負荷トルクが作用し、歯面下部までに至る摩耗や歯面の欠けといった損傷が発生したと推察される。したがって歯車強度設計として、運転条件の影響を考慮した歯面詳細形状の設計が必要と考えられる。

## 3 歯面形状の最適設計

2.3では、ピーク負荷条件において接触応力が上昇することを明らかにした。このことに加え、部品間の隙間や許容差寸法などもミスアライメントに影響し接触応力が増加すると

考えられるため、設計者はこれらの外乱に対してロバストな歯面形状を設計する必要がある。そこで次の手順に沿って歯面形状の最適設計を実施した。

- (1) ミスアライメントに影響する因子の抽出と寄与度分析の実施
- (2) (1)の影響因子を考慮した歯面接触応力を低減する歯面修整量の最適化

### 3.1 影響因子の寄与度分析

ミスアライメントに影響する因子を特定するに当たり、減速機の軸方向と径方向の接触・拘束関係を切り分けて考え、歯当たりへの影響が大きいと考えられる部品間の隙間とはめあいを抽出した。そして、軸受内部の隙間や軸・軸受のはめあい公差、軸-歯車接合部の隙間、歯車かみ合いでのバックラッシュなどが影響因子として挙げられた。

これら因子の寄与度分析は、品質工学の手法<sup>(3)</sup>に基づいてY(ミスアライメント)に対するX(因子)の影響を分析することとした。具体的には、Xについては部品の寸法許容差やはめあい・隙間公差から水準を定め、Yは各因子水準によって生じるかみ合い歯面間のミスアライメント変化量とした。YとXをもとに実験計画を作成し、寄与率の計算を行った。その結果、寄与率の高い因子は出力軸-歯車間の接合部隙間、減速機内部で使用される軸受の内部隙間、減速機内部の歯車軸はめあいと抽出された。

### 3.2 最適形状の計算

歯面形状の最適化計算は、設計因子や誤差因子の影響に対してロバストで、かつ歯面接触応力を低減することを目的として行った。計算法として、構築したシミュレーションモデルと品質工学における2段階設計<sup>(3)</sup>を組み合わせたものを適用した。2段階設計とは、第1に歯面接触応力の解析結果(出力)のばらつきを小さくし、第2に歯面接触応力を目標値に近づけるといった設計思想である。図5に、本計算のシステムチャートを示す。

2段階設計の対象は、入力を定常負荷条件とした静特性システムである。制御因子には歯すじ修整量としてクラウニング量およびスロープ量、歯形修整量として歯先修整量および歯元修整量を採用した。誤差因子については、寄与度分析の結果から寄与度の高い因子を抽出し、N1(接触応力を低くす

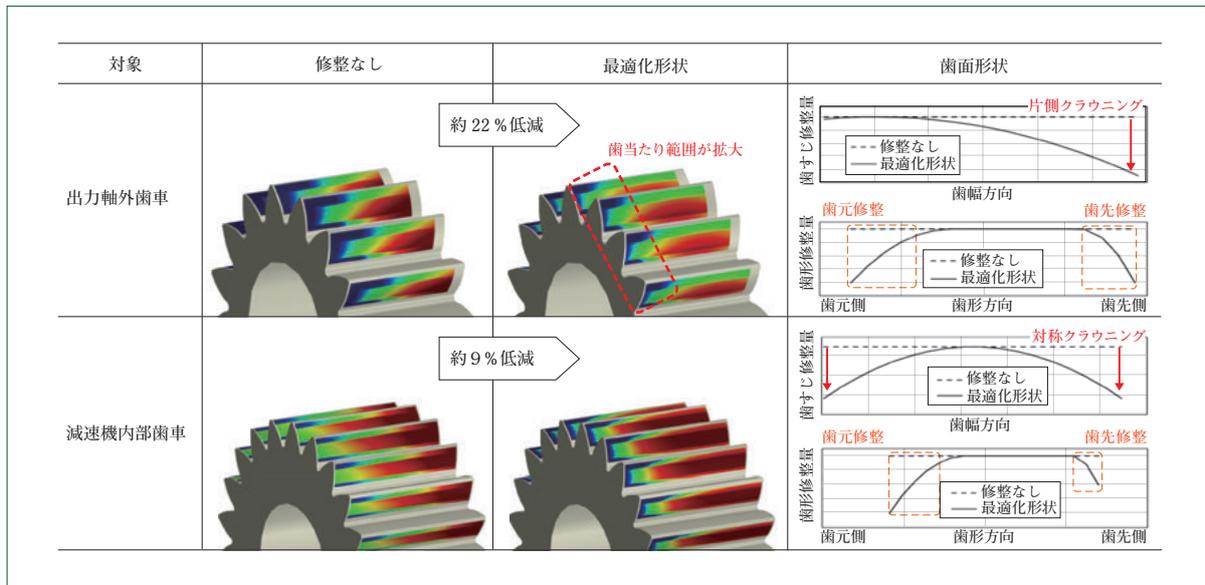


図6 最適歯面形状による歯当たり解析結果  
Result of tooth contact analysis with optimal tooth flank

る水準)およびN2(接触応力を高くする水準)に振り分けたものを使用した。出力として接触応力解析における応力の最大値が取得され、この最適化計算の評価指標として採用した。

2段階設定は次の手順に従って実施した。

- (1) 制御因子および誤差因子に基づく実験計画を作成し、出力(接触応力)を取得する。
- (2) 出力のSN比および感度を計算し、各制御因子の主効果を評価する。
- (3) 出力のロバスト性を向上させる制御因子水準を選択する(Robust Design)。
- (4) ロバスト性を担保しつつ、接触応力を低減させる制御因子水準を選択する(Tuning Design)。

図6に、最適化計算結果の一例として、ピーク負荷条件における出力軸外歯車と減速機内部歯車での計算結果を示す。歯面修整なしの解析結果と比較し、最適歯面形状を用いることで歯当たり範囲が拡大し、接触応力を最大約22%低減できることが確認された。また歯面形状は、出力軸外歯車で片側クラウニングおよび歯先・歯元修整、減速機内部歯車で対称クラウニングおよび歯先・歯元修整となる形状が導出された。これは、歯面が強く接触している箇所に対して逃げを設けた形状となっており、歯面修整形状として妥当であると推察される。定常負荷条件においても同様に、接触応力が低減できることが確認された。

このように、減速機全体構造を含めたシミュレーションモデルと品質工学における2段階設計を組み合わせ、接触応力の低減を目的とした歯面形状の最適設計プロセスを構築した。本技術により減速機詳細設計フェーズにおける事前評価・検討が可能となり、歯車減速機設計の信頼性向上に貢献できると期待される。

## 4 むすび

- (1) 歯車だけでなく、軸や軸受、減速機ケースといった減

速機全体構造を含めたシミュレーションモデルを開発し、社内耐久試験において損傷が生じた歯車を対象に歯面の接触応力解析を実施した。

- (2) 歯車表面の損傷に対してこの接触応力解析を用いることで、試験でのピーク負荷条件による影響が大きく、部品間の隙間などにより生じるミスアライメントの影響は小さいことを明らかにした。
- (3) この接触応力解析に品質工学の手法を組み合わせることで、負荷条件およびミスアライメントに対してロバストとなる歯面形状の最適設計を実施し、ピーク負荷条件での接触応力を最大約22%低減できることを明らかにした。
- (4) 当社では、歯車減速機のさらなる信頼性向上に貢献すべく、本開発で構築した歯車の接触応力解析手法および歯面形状の最適設計手法をはじめとする、設計高度化に向けた技術開発を引き続き行っていく。

### (参考文献)

- (1) International Organization for Standardization, ISO Standard 6336-2:2019 Part2: Calculation of surface durability (pitting) (2019).
- (2) 日本歯車工業会, JGMA 6102-02 平歯車及びはすば歯車の歯面強さ計算式 (2009).
- (3) 立林和夫, 入門 タグチメソッド, 日科技連出版社 (2004).

# 円周溝を有する部品の自動寸法検査装置開発

Development of Automated Dimensional Inspection Device for Groove Diameter Machined on Circumference

●川 島 剛\*  
Takeshi KAWASHIMA



円周溝径自動寸法検査装置  
Automated dimensional inspection device for groove diameter machined on circumference

精密な減速機を生産するには、高度な加工技術に加え、高精度な検査技術も重要である。一部の特殊形状の寸法検査においては、熟練技能者による属人的な測定が実施されており、今後の労働力不足に対応するには熟練者に依存する製造からの脱却が求められる。そこで当社では、熟練技能者に依存する寸法検査の一つである、円周上に加工された溝径の寸法検査装置の自動化開発に取り組んだ。まず熟練者の技能を自動測定に取り入れるべく、現行の手動測定方法を調査し、測定位置の調整に高い技能を要することが分かった。そして、その調整を自動化するために、新たな位置決め機構を開発した。本機構を自動測定機構として採用することにより、高精度な測定を実現することができた。量産ラインに適用できるように、開発した自動測定機構を盛り込み、使いやすさにも考慮した円周溝径の自動寸法検査装置を開発した。本装置は今後量産ラインに適用される予定である。

To manufacture high precision gearboxes, not only high-precision processing technology, but also high accuracy inspection technology is important. Dimensional inspection of some special shapes has been performed by skilled workers on a personal basis, and in order to deal with future labor shortages, it is necessary to break away from manufacturing that depends on skilled workers. Therefore, we worked on the development of an automated dimensional inspection device for the groove diameter machined on the circumference, which is one of the dimensional inspections that has relied on skilled workers. First of all, in order to incorporate the skills of workers into automatic measurement, we investigated the current manual measurement method and found that high skill is required to adjust the measurement position. In order to automate the adjustment, we developed a new positioning mechanism. By adopting this mechanism, we were able to achieve highly accurate measurement. In order to apply it to the mass production line, the automatic inspection system equipped with the developed mechanism was designed and manufactured with ease of use. This system will be used in the mass production line.

## 1 まえがき

精密な減速機を生産するには、高精度な加工技術が求められ、また、それを管理する高精度な検査技術も同様に必要と

なる。特殊な形状を対象とした寸法検査においては、その一部で熟練者による属人的な測定手法が用いられている。特殊形状を検査する場合、汎用的な測定では対応しきれず、CMM（三次元測定機）を用いればその寸法を計測することはでき

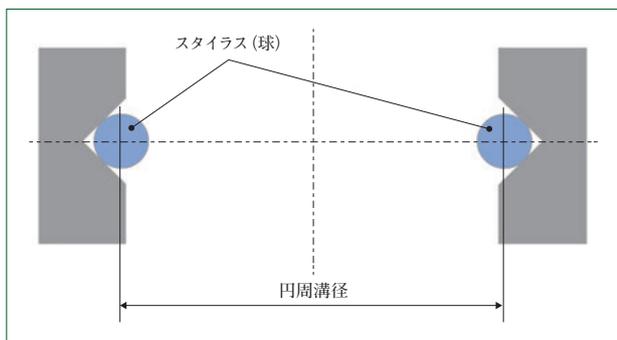


図1 円周溝径測定の概略図  
Schematic diagram of measuring groove diameter machined on circumference

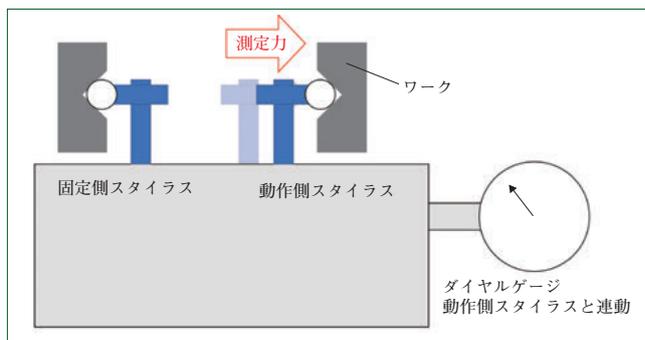


図2 手動測定装置の概略図  
Schematic diagram of manual measuring device

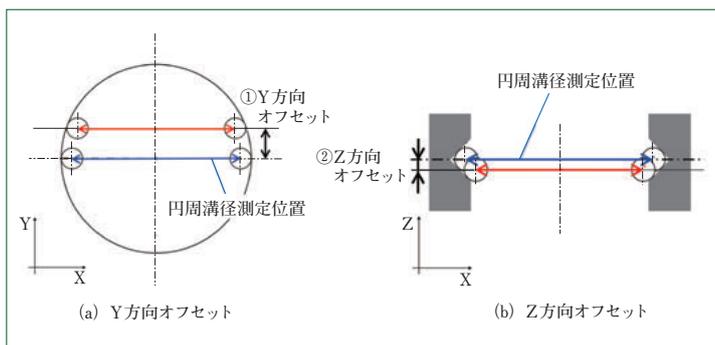


図3 測定誤差要因  
Measurement error factors

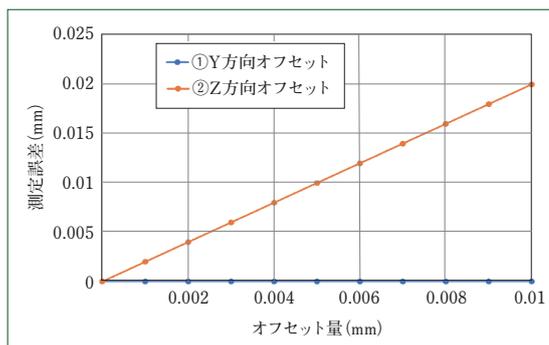


図4 オフセット量と測定誤差の関係  
Relationship between offsets and measurement error

るが、測定時間や導入コストの点で見合わないことから従来の属人的手法に依存している状態である。

現在、日本では少子高齢化の進行により、生産年齢人口(15～64歳)は1995年の8716万人をピークとして、2050年には5275万人(2021年から29.2%減)にまで減少すると見込まれており、労働力不足の深刻化が懸念されている<sup>(1)</sup>。このような背景から、当社においても熟練技能の継承および生産性向上への取組みを早急に進めていくことが必要であり、熟練技能に依存する寸法検査の一つである、円周上に加工された溝径(円周溝径)の自動寸法検査装置開発に取り組んだ。

事前に、円周溝径測定に必要な熟練技能を明らかにすることを目的として、測定作業に不慣れた作業者を対象に実ワークを用いて測定実験を行った。同一ワークを複数回測定し、繰り返しの測定精度を確認したところ、要求される精度での測定はできなかった。このことから、熟練技能は「繰り返し精度良く測定する技能」と想定され、それに必要なコツを経験的に習得したものと考えられる。そのコツを自動測定に取り入れるべく、まずは手動の測定方法を調査することによりコツの正体を明らかにし、自動測定への適用方法を検討した。

## 2 手動測定の調査と熟練技能について

まず、現行の手動測定装置およびその装置を用いた測定方法を調査し、繰り返し精度良く測定するコツを明らかにした。

### 2.1 技能者による手動測定概要

図1に、円周溝径の測定イメージを示す。球状のスタイラスを円周溝の中心へ落とし込み、その直径を測定する。測定対象の円周溝径はミクロン単位の管理が求められる。

図2に、現行の手動測定装置の概要を示す。測定装置のスタイラスは、片側は固定され、もう一方は動作可能で計測方向に一定の力(測定力)がかかるようになっている。計測値を見ながら、適切なポジションになるようワークを手で調整・計測し、すでに寸法が分かっている基準ゲージとの比較測定で円周溝径を測定する。

なお比較測定とは、基準ゲージと対象物との差から寸法を割り出す測定方法であり、測定誤差を減らすことができる。たとえば、測定力による弾性変形やスタンドのたわみは、基準ゲージ測定時と測定対象ワーク測定時で同様に生じることから、それぞれ打ち消し合った<sup>(2)</sup>状態で測定できる。

### 2.2 繰り返し精度良く測定するのに必要な熟練技能

手動測定による計測値のばらつきの主な原因は、繰り返し同じ位置で計測できていないことと推測される。計測ばらつきに起因するものは次の2点である。

- ① Y方向のズレ(最大径を測定できない)(図3(a))
- ② Z方向のズレ(溝中心にスタイラスを落とし込めない)(図3(b))

それぞれの計測値への影響を確認すべく、相応の条件を設定し、算出する。2つのスタイラスの中心間距離を円周溝径とし、その直径を100mm、溝形状を角度 $\pi/2$ rad(90°)のV形状とする。①、②の円周溝径測定位置からオフセットさせ、測定誤差を算出する。なお、①をオフセットさせるとき②はオフセットなし、②をオフセットさせるときも同様に①はオフセットなしとする。

図4に、オフセット量を0～0.01mmまで変化させたときの測定誤差を示す。本算出条件において、①は無視できるほ

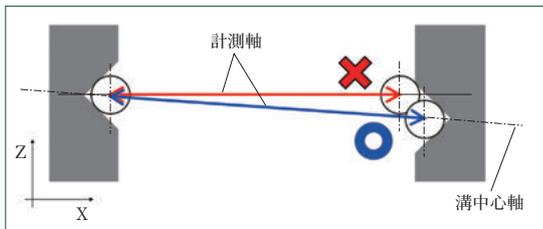


図5 傾き調整の必要性  
Necessity of adjusting tilt

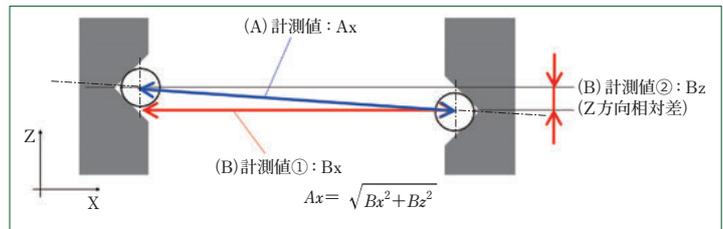


図6 計測軸と溝中心軸の調整方法  
Adjusting methods of measurement axis and center axis of groove

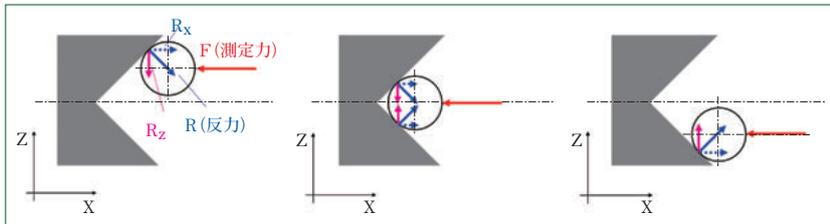


図7 測定力と反力の関係  
Relationship between measuring force and reaction force

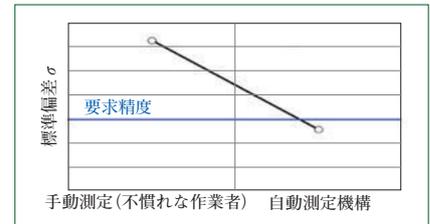


図8 自動測定機構の検証試験結果  
Evaluation result of automated measuring mechanism

ど小さいエラーであることから、Y方向オフセット(位置)がばらつきても、計測値のばらつきは小さいことが分かる。一方、②に関してはZ方向オフセット量に対して、円周溝径の測定誤差は2倍の感度で出力される。出力度合いは溝形状によるが、Z方向オフセット(位置)のばらつきが、計測値のばらつきとして少なからず影響することが分かる。

これより、熟練技能者が体得したコツとは、Z方向のズレを、ミクロンを超えるレベルで調整しながら測定するスキルと推測でき、この調整が円周溝径の適切な測定に必要な技術と断定した。

### 3 熟練技能の自動化

熟練技であるZ方向のズレ調整を自動測定に取り込むべく、測定手法を検討する。

大まかな装置仕様を次のように決め、これらをベースに検討を進める。

- ・ワーク交換の作業性を考慮し、ワークは固定とする(手動測定のようにワークを動かせる状態にしない)
- ・ワークの複数断面を測定できるよう、ワーク側に回転ステージを設ける
- ・現行の手動測定装置との互換性を考慮し、接触式変位センサを使用する

#### 3.1 Z方向ズレのパターン整理

2.2で述べたZ方向のズレは、溝中心軸に対して2つのスタイラス方向(計測軸)がZ方向にオフセットした場合を想定したが、溝中心軸と計測軸に傾きが発生する場合でも、2つのスタイラスを同時に溝中心へ落とし込むことはできない(図5)。少なくとも、片側のスタイラスでZ方向のズレが発生することとなり、測定誤差が生じる。このことから溝中心軸と計測軸の傾きも調整する必要がある。

ここで、どの程度の傾き調整が必要かを2.2で設定したワーク形状を用いて算出する。片側のスタイラスは溝中心に落とし込めており、もう一方は溝中心からZ方向に

0.001mm ずれた状態とする。このとき2つのスタイラスを溝中心に落とし込むのに必要な傾き調整は  $1 \times 10^{-5}$  rad ( $6 \times 10^{-4}$ ) となり、このレベルでの調整が求められる。また、自動測定では「複数断面の測定」という要求があり、回転ステージを用いて割り出して測定することになるが、ワーク形状精度やステージ精度の影響で、割り出しごとに測定断面における溝中心軸の傾きは変化すると推測される。そのため、測定のたびに算出したレベルでの傾き調整が必要となる。

Z方向ズレをまとめると、測定断面において溝中心軸と計測軸がオフセットする場合と傾きが発生する場合であり、すなわち2つの軸が同一線上にないときに発生すると考えられる。

#### 3.2 Z方向ズレの調整方法検討

Z方向ズレを調整するには、溝中心軸と計測軸を同一線上に調整できればよいことが分かった。調整方法を次の2パターンで検討した(図6)。

- (A) 溝中心軸を基準に物理的に計測軸を調整する方法
- (B) 溝中心の座標を取得し、同一線上になるようソフト上で算出(調整)する方法

(A)に関しては、手動測定同様、Z方向のズレを調整し直径を測定するものである。自動測定の場合、ワークは固定とするので、計測軸側で精度良くズレを調整する機構が必要となる。

(B)は、ソフトでの対応を前提に検討したものである。装置イメージとしては真円度測定機に近い。スタイラスを1つにし、対向するそれぞれの溝中心のXZ座標を取得し、X方向の計測値①と、Z方向の相対差②より円周溝径を算出する。

(B)は、直径を直接測定できず、ステージを走査させながら座標を取得することになるので、ステージ精度に起因する測定誤差の発生が懸念される。測定誤差を抑えるには高精度なステージが必要となり、コストが高くなる。一方(A)は、直径を直接測定できるので、ステージ精度による測定誤差は(B)と比べ生じにくく、高精度なステージは不要となる。今

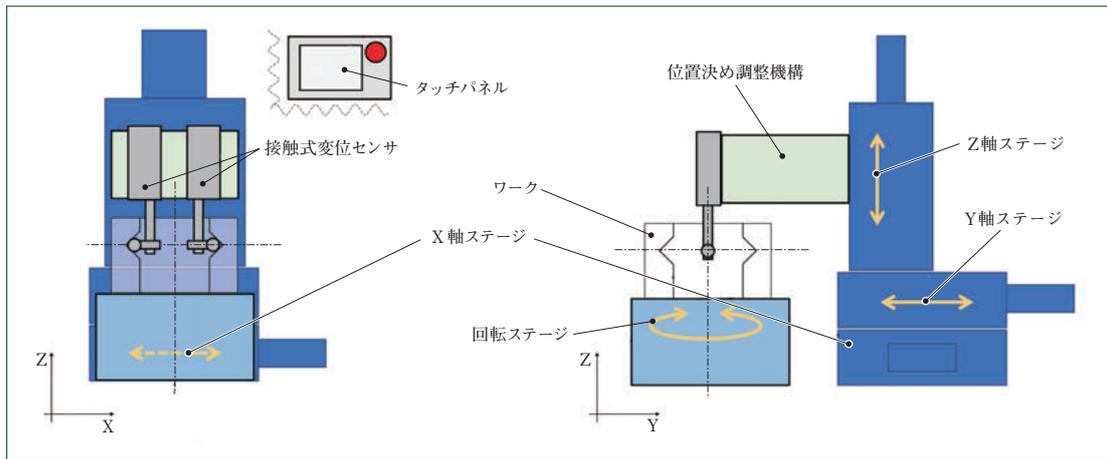


図9 装置構成の概略図  
Schematic diagram of device configuration

回はコストを抑えられる(A)で開発を進めた。

### 3.3 計測軸調整機構の検討

機構を検討するに当たり、溝およびスタイラスの形状に着目し、測定時の力の釣り合いを整理した。ワークは固定とし、溝上に球状スタイラスが配置され、そのスタイラスから測定力が発せられる場合を考える(図7)。

測定力による反力がスタイラスに作用し、その反力はX方向とZ方向に分けられる。スタイラスが溝斜面上にある場合、Z方向の反力は常に溝中心方向へ働く。一方、溝中心にある場合は、2点で接触することになり、Z方向の反力は打ち消される。スタイラスが自由に動ける状況であれば、自動で溝中心に位置決めされる関係にあることが分かる。

この関係を利用し、2つのスタイラスを溝中心に位置決めさせることで、計測軸が溝中心軸と同一線上になるよう自動で動作する機構(位置決め調整機構)を開発した。

今回開発した機構が狙い通りの調整を行い、円周溝径を適切に測定できるか確認すべく、センサを含め、必要最低限の機能を搭載した検証機を設計、製作し検証試験を行った。手動測定同様、基準ゲージとの比較測定とした。実際のワークを1機種選択し、寸法の異なる6個のワークを作業員2人で2回ずつ測定を行い、繰返し測定精度(標準偏差 $\sigma$ )を評価した。その結果、要求精度を満足する結果が得られた(図8)。これより、位置決め調整機構を搭載した自動測定機構の有用性が示された。

なお、手動測定の場合、ワークの自重が測定力による反力を打ち消すことから自動では位置が決まらず、人の手によるズレ調整が必要になったと考える。

## 4 量産適用装置

量産ラインに適用できるように、開発した自動測定機構を盛り込み、ユーザビリティを考慮した自動寸法検査装置の設計、製作を行った。

製作した装置は代表図の通りである。図9に、装置構成の概要を示す。X軸、Y軸、Z軸ステージと回転ステージから成り、Z軸ステージ上に位置決め調整機構および接触式変位センサが搭載される。作業員はタッチパネルを用いて検査装置を操作するが、操作内容が複雑にならないよう、直感的に

操作できることを意識して画面を構成した。

最後に、製作した自動寸法検査装置が要求された仕様を満足するか確認すべく、一通りの検証試験を実施した。すべての仕様に対して要求を満足することを確認し、自動寸法検査装置の開発を完了した。

## 5 量産適用について

開発した自動寸法検査装置は量産ラインに組み込まれ、今後稼働する予定である。

## 6 むすび

- (1) 近年問題視されている労働力の不足や熟練者の技能継承に対応すべく、熟練技能者に依存する寸法検査の一つである、円周溝径の自動寸法検査装置開発に取り組んだ。
- (2) 熟練者による手動測定について調査した結果、測定位置の調整に高い技能を要することが分かった。
- (3) 測定位置の調整を自動化すべく、新たな位置決め機構を開発した。この機構を用いることで、繰返し精度良く測定できること確認し、自動測定機構を確立させた。
- (4) 量産ラインに適用できるように、開発した自動測定機構を盛り込み、使いやすさにも考慮した円周溝径の自動寸法検査装置を開発した。本装置は今後量産ラインに適用される予定である。

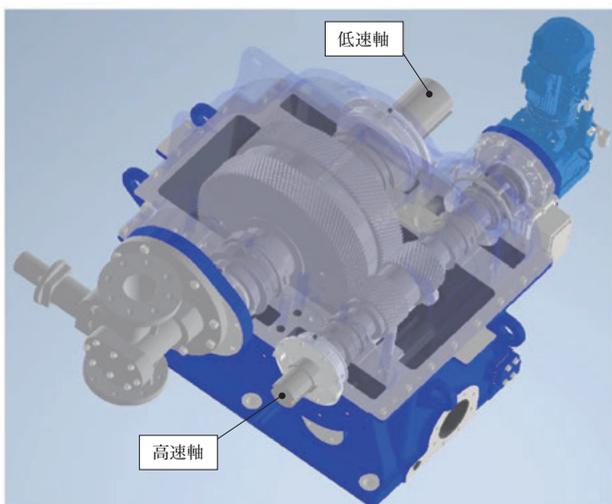
(参考文献)

- (1) 総務省, 令和4年版情報通信白書, (2022), 26-27.
- (2) 高増潔, 超精密計測の基礎と新しい超精密計測技術の動向, 精密工学会第410回講習会, (2020), 40-45.

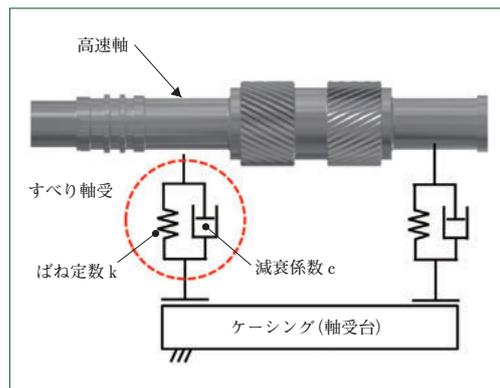
# 高速歯車装置の軸受・軸振動解析プログラムの再構築

## Reconfiguration of Analysis Program for Journal Bearing and Rotor Dynamics of High Speed Gearbox

● 持田 将身\*  
Masami MOCHIDA



高速歯車装置の軸-軸受支持系  
Rotor-bearing-support system of high speed gearbox



### 1 はじめに

住友重機械ギヤボックス株式会社の主力製品の一つである高速歯車装置は、高速軸の回転数が最大約60 000 r/min、歯車周速が最大約160 m/sであり、汎用の歯車装置に比べて高速回転の領域で使用されている。高速軸は、軸の固有角振動数に近い領域で運転されることが多いが、運転回転数に対する軸の固有角振動数の余裕が少ないと、共振によって軸と軸受、ケーシングの損傷を引き起こす可能性がある。すなわち、危険速度を正確に把握することが重要である。このことから、顧客の要求仕様や使用条件に応じて歯車諸元や軸径などを決定した後、軸モデルを作成して軸振動解析を実施する必要がある。また、ラジアル荷重を支持する軸受が転がり軸受では対応困難な周速である場合、通常は流体すべり軸受が採用されるので、軸-軸受系の安定性の評価をこのすべり軸受のばねと減衰を考慮して実施する必要がある。これらの解析は住友重機械ギヤボックスで開発した解析プログラムを用いているが、追加や変更が難しいデータ形式となっている。

そこで、すべり軸受の改良や新規開発、各国の規格や顧客の仕様などに柔軟に対応できるように軸受・軸振動解析プログラムの再構築を進めてきた。本報では、その概要について解説する。

### 2 高速歯車装置の設計プロセスの主な流れ

まず、顧客の要求仕様や使用条件をもとに、歯数やモジュールなどの歯車諸元、軸径、軸受支持位置、軸長などを仮決

定し、軸振動解析対象の軸形状を作成する。次に、軸の質量や歯車のかみ合い反力から軸受荷重を算出する(図1)。これらの条件を考慮して軸をモデル化し、安全に運転できるかどうかを評価すべく、すべり軸受特性解析および軸振動解析を行う。

### 3 すべり軸受特性解析

図2に、すべり軸受特性の計算フローを示す。軸受径、軸受隙間、軸受荷重、潤滑油の粘度、軸の回転数などを設計パラメータとして、軸受隙間内の油の流れを有限要素法で解くプログラムを再構築した。これを解き、軸受内の軸の静的釣合い位置における軸受内面全体の油膜圧力分布、負荷容量、温度分布、ロス、油量などを求める。次に、ばね定数と減衰係数を算出し、この値を支点条件とした軸振動解析につなげる。

### 4 軸振動解析

#### 4.1 危険速度解析の条件と結果

危険速度解析の対象は回転軸であることから、本手法では軸をせん断梁とし、回転慣性とジャイロ効果を考慮した運動方程式を導き、有限要素法で解くプログラムを再構築した。図3に、軸受ばね定数が $10^6 \sim 10^{10}$  (N/m)における高速軸の1～3次の危険速度と固有振動モードを示す。運転で使用する回転数が、危険速度からどの程度の余裕を有しているか、軸の剛性に対して支持する軸受のばね定数がどの程度必要かなど、代表的な振動モードについて確認する。

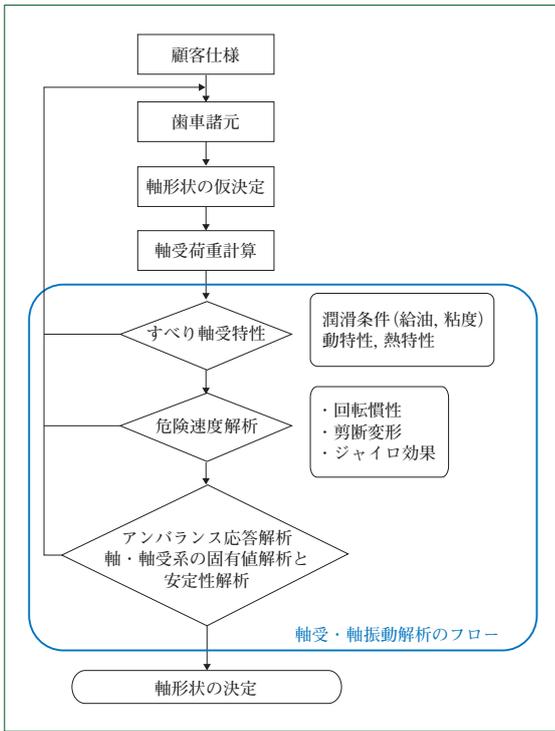


図1 軸受・軸振動解析の主なフロー  
Main flow of journal bearing and rotor dynamics analysis

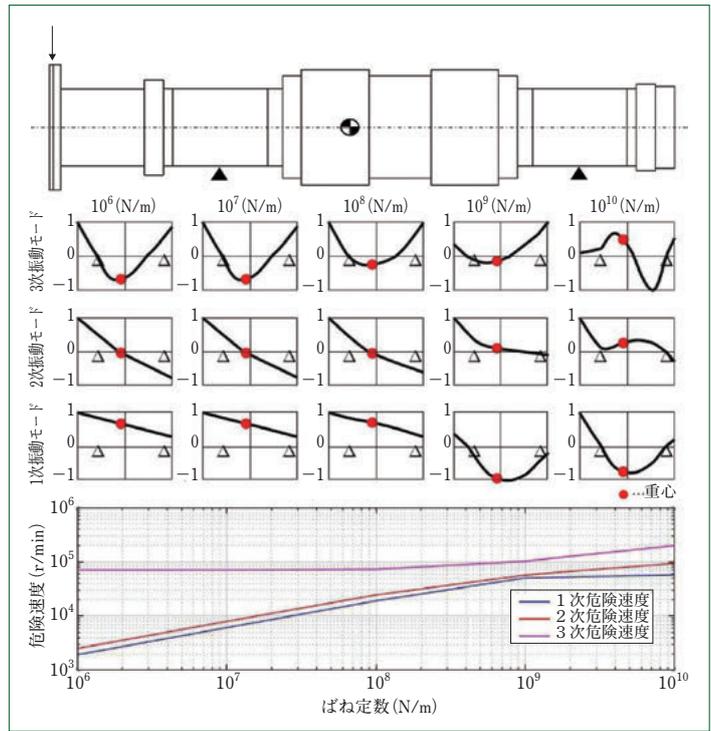


図3 軸の危険速度解析  
Rotor critical speed analysis

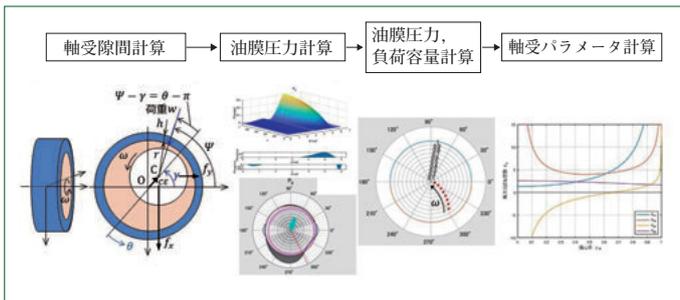


図2 すべり軸受特性の計算フロー  
Calculation flow of bearing characteristics

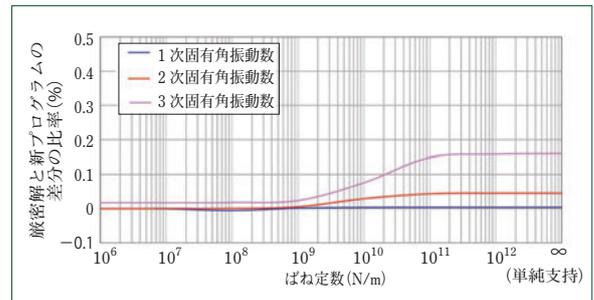


図4 一樣断面軸における厳密解と新プログラムの固有角振動数の差の比率  
Difference ratio of natural frequency between exact solution and new program

#### 4.2 精度の検証

新プログラムの精度や確からしさの検証として、厳密解(解析解)と軸モデルを一樣断面軸として得られた固有角振動数を比較した。一樣断面軸の長さ(L)を120mm、直径(D)を30mm(長さの直径比L/D=0.25)、両端ばね支持として比較する新プログラムの要素分割数は32分割とした。その結果、ばね定数 $10^6 \sim 10^{12}$  (N/m) および単純支持梁の条件にて、厳密解との差の比率は最大で0.16%以下(3次固有角振動数)と良好一致が見られた(図4)。

### 5 おわりに

- (1) すべり軸受特性解析で油膜の圧力分布および負荷容量を求め、軸受のばねと減衰係数を算出した。
- (2) 軸振動解析で危険速度解析を行い、厳密解と比べても遜色のない結果が得られた。
- (3) すべり軸受特性解析で得られたばね定数と減衰係数を用いたアンバランス応答解析が新プログラムでも可能となった。

高速歯車装置にとって、すべり軸受解析や軸振動解析は重要な技術であるが、現行のプログラムは追加や変更が難しいデータ形式であることから、新プログラムへ置き換えるべく再構築を行った。今後は、すべり軸受の温度分布とロス・油量計算、軸振動解析における減衰を考慮した安定性解析まで行えるようにし、最終的には歯車や軸の強度計算を含めた一連の設計プログラムの運用開始を目指す。

軸受・軸振動解析プログラムの再構築に当たり、埼玉大学名誉教授 佐藤勇一氏、元技術研究所 畑山貴善氏にご指導いただいたほか、技術研究所の支援があったことを付記し、心より感謝を申し上げます。

# 次世代ロボットの創出を加速するアクチュエータパッケージ TUAKA

## TUAKA - Actuator Packages to Accelerate Creation of Next-generation Robots -

● Sebastian MARKERT \*



### 1 BACKGROUND OF THE DEVELOPMENT - ISSUE

There is a consolidated market for industrial robots and cobots -the customer can choose between multiple vendors. But still we can see many new robot companies rising in the start up world as well as the big players to follow the innovation level of these companies. The innovations are now mostly happening in software development (PLC) and usage of new and advance sensors. Two main directions can be observed :

- (1) ease of use (nontechnical people must be able to use robotics for any issue)
- (2) dedicated robots (for a specific issue that can not be solved with "of the shelf" 6 or 7 -Axis Robot)

The new makers must start up with limited knowledge about mechanics of a robot joint. Anyway, they need to develop hardware to offer a product -so they will go this hard way. In a perfect world they'd rather prefer to focus on development of their software.

### 2 TUAKA PRODUCT PORTFOLIO - SOLUTION

With our TUAKA product portfolio we present a solution that enables fast development to our customers. It is not a single product -it is a configurable portfolio that offers everything needed to achieve targets in both mentioned trend directions. Particular highlight for this is our gearbox integrated torque sensor. The torque signal will not only be provided to the customers PLC, in fact it is used directly inside the driver and fine tuned for the fully integrated robot joint. This very high -quality force feedback e.g. is an

enabler for "ease of use" robotics. The robot will be very responsive and sensitive in case a hand guidance mode is enabled. Next to this many other force feedback-based features can be implemented.

It is not only interesting to the mentioned start up companies -the very high performance -density does offer benefits to well established big makers as well. We are confident that we can offer the hardware on a budget level where a 'make or buy' decision for a fully integrated robot joint can be decided for us.

Finally, due to the configurable options, our customers can find the perfect combination of component as they need it. It highly depends on the customers system architecture which solution will give them the biggest benefit. In case they use drivers that they are familiar and happy with they might not be able to order our DRIVE solution. → They can go for a SERVO solution and choose the encoder protocol that is mating their existing drivers. In case they do not need a closed loop control or they need to use a very special sensor that shall be merged with out TUAKA unit they will select the ACTIVE solution.

Independent to each of the base structure parts they can order as an option e.g an integrated brake, IPxx protection housings, different connectors , ...

Our most inflexible and expansive part will always be the same to profit by economy of scale while customization is happening on optional or cheaper parts. Due to this we hope to be able to maintain attractive price levels towards our customers.

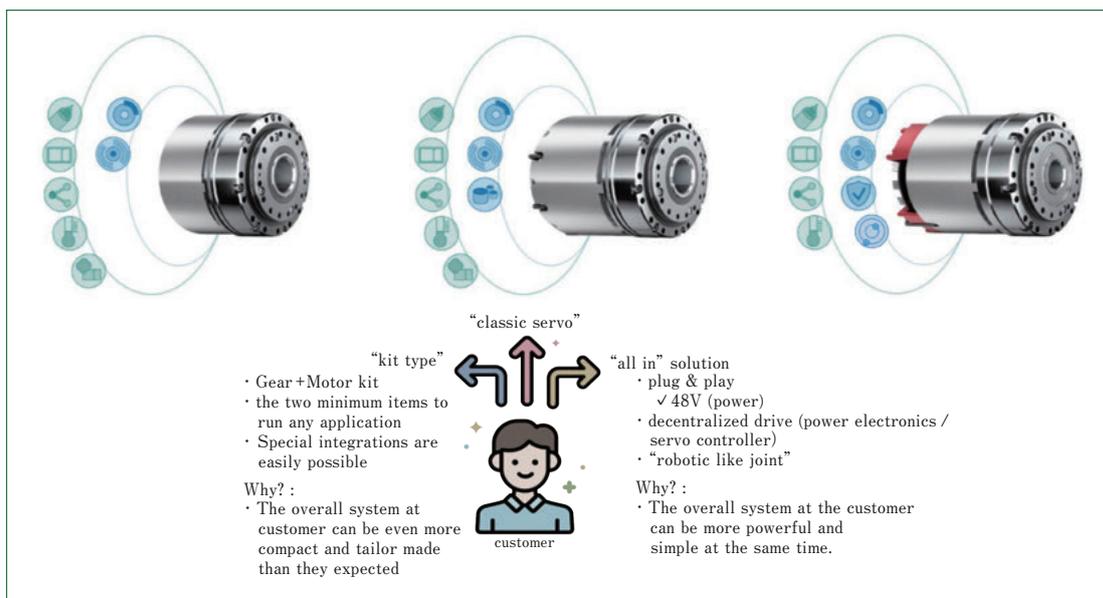


Figure 1 Package solution

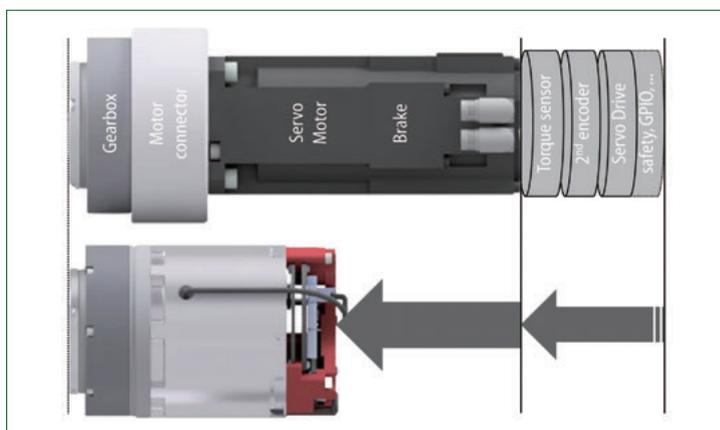


Figure 2 TUAKA vs Classical servo actuator

### 3 TECHNOLOGY INSIDE

ECY -Gearbox (introduced in SHI report No.200 -Dec. 2019) does give the basis to each unit. In first step only Framesize 103 & 107 are developed. To achieve high level compactness some parts are slightly modified. Motorhousing does provide input side bearing support of the gearbox at the same time as supporting the motor, brake and encoder or driver. There is only a single shaft that we call “backbone” of TUAKA. By this we can make sure of very low tolerance issues on all the rotating parts. Additionally, it increases the overall stiffness (compliance) from motor to output of gear. All components are designed to match perfectly together while maintaining good thermal management. In comparison to traditional solutions TUAKA can be significantly more compact :

### 4 SUCCESS STORIES

We hope to file this section by next report as TUAKA is

not yet officially introduced to the market -it is scheduled for November 2023. However, we are discussing highly interesting projects with potential customers and our pipeline for very attractive opportunities is well filled.

Keep your fingers crossed together with us for a great success stories next year !

### 5 CONCLUSION

TUAKA is a precision gearbox portfolio which comprises gearbox, motor, brake, driver, encoder(s), torque sensor and many other features. It is configurable by our customers while machined parts themselves are not meant to be customized. It is mandatory to offer competitive prices in a challenging environment but still put customer in # 1 priority. We are confident that the integrated solutions will enable many new developments / projects by our customers and take away efforts that they don't want to waste time with.

※ TUAKA is a registered trade mark of Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

# AGV用駆動ユニット smartrisの開発

## Development of smartris for AGV Drive Unit

●長尾 祐樹\*  
Yuki NAGAO



ホイール付き smartris (ギヤモータおよびドライバ)  
smartris (gear motor and driver) with wheel

### 1 はじめに

近年、作業の効率化・省人化を目的に無人搬送車 (AGV) の需要が全世界的に増加している。それに伴いAGVは多種多様化しており、AGVのベースとなる駆動部は従来の敷設された磁気テープなどのマーカーを追従するタイプに加え、搭載するセンサ類により自己位置を認識し、自律走行を行うタイプ (これをAGVに対してAMRと称することがあるが、本報ではこのタイプを含め総称としてAGVと記載する) も幅広い分野に導入されてきている。AGVは、IoTやセンサなどの基盤技術の進化に伴い、今後ますます機能拡張していくとみられ、業種・業界を問わず進むDXの潮流のなかで一層の需要増加が予測される。

AGVの需要増加および多様化に伴い、その駆動部にはAGVへの搭載の容易さが求められている。AGVの駆動部はホイール、減速機、モータおよびドライバで構成され (図1)、AGV本体のコントローラからの指令を受けて制御されるが、減速機とモータとの連結作業やモータとドライバ間の通信調整作業には、広範囲な知識や経験が必要とされる場合が多く、AGVの設計者や作業員への負担も少なくない。また、駆動部 (主にドライバ) とAGVコントローラとの通信調整も含めると制御面では2重の調整が必要となる。このことから、調整作業を不要とする駆動ユニット一式がパッケージとして提供されることへの期待が高まっている。当社ではこうした期待に応えるべく減速機、モータおよびドライバをパッケージ化し

たAGV用駆動ユニット「smartris」を発売した。また、ホイールのオプション対応やモータの回転検出器およびドライバの通信プロトコルの種類拡充も進めている。本報では、このsmartrisの仕様や特長、今後の展開について解説する。

### 2 AGV用駆動ユニットに対する要求仕様

#### (1) ギヤモータ部

AGVの筐体には駆動ユニットのほかにバッテリーやコントローラ、センサなど多くの機器が搭載されることから、駆動ユニットにはコンパクト性が要求される。また、駆動ユニットは、その回転軸に対して垂直方向にAGV本体および積載物の重量を支持しながら駆動するので、耐荷重性も求められる。ほかに荷重を支えるサポートホイールがない (もしくは少ない) AGV構造の場合には、総重量の大部分を駆動ユニットで支持することから、大きな耐荷重性能が求められる。このように駆動ユニットのコンパクト性と耐荷重性は、AGVの設計自由度に大きく影響する重要な要求仕様となる。

#### (2) ドライバ部

駆動ユニットとしてAGVに搭載するうえでドライバと上位コントローラとの通信が容易であることや、AGV試運転開始時から最適な走行・停止をさせるべく、ドライバのフィードバックゲインが調整済みであることが求められる。また、AGVは人と協働することが多いため、安全性の確保は必要不可欠であり、AGV本体の制御シ

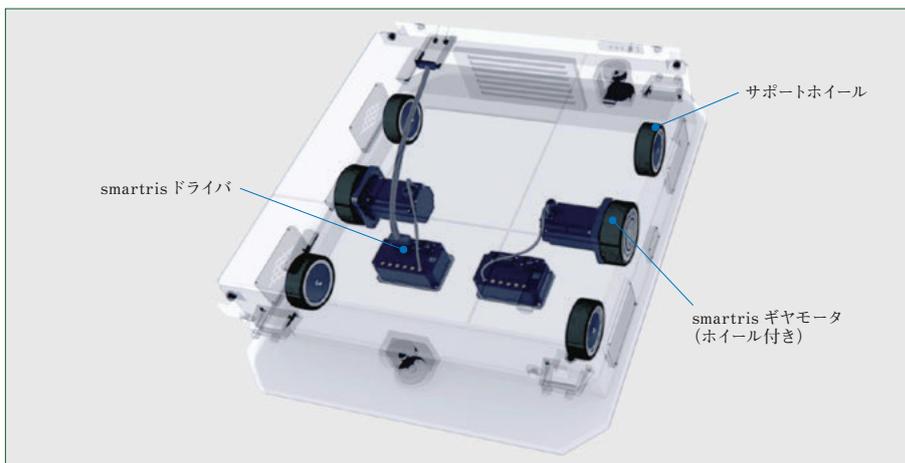


図1 AGV への搭載例  
Installation example on AGV

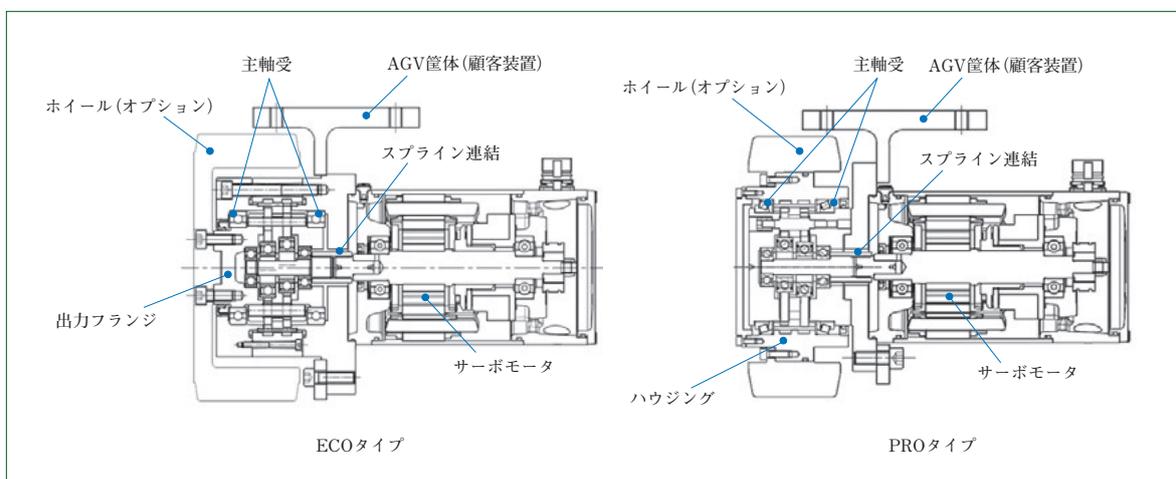


図2 smartris ECO タイプおよび PRO タイプのギヤモータ部構造図  
Gear motor structures of smartris ECO and PRO

システムとは別に駆動ユニット（主にドライバ部）に安全機能が求められる場合もある。

### 3 smartris ギヤモータ部の構造

2章(1)で述べたギヤモータ部に要求される耐荷重性能が広範であることを踏まえ、当社では2種類(smartris ECOタイプおよびPROタイプ)のギヤモータ(減速部)を開発した。図2に、その構造を示す。ECOタイプは、出力フランジが回転する構造である。主軸受に玉軸受を使用しており、軽荷重での使用を前提としている。PROタイプは、ECOタイプと異なりハウジング部が回転する構造で、ホイールがAGV本体から受ける荷重を減速部の中心で受ける。また主軸受に円すいころ軸受を使用しており、高荷重に対応可能である。

smartrisの減速部は、当社の主力製品のひとつであるアルタックスNEOをベースとしている。アルタックスNEOは、その歯車形状にエピトロコイド平行曲線を採用しており、滑らかな転がり接触によりトルクを伝達する。また、減速部を両

側から支持する両持ち構造を有しており剛性も高い。このことに加え、コンパクト(扁平)でモータ軸と出力軸の回転軸が同一線上にあることから、ホイール内に減速部を収容するインホイール構造に適している。サーボモータと減速部との連結にはスプライン連結を採用しており、組立て性とメンテナンス性に優れている。

### 4 サーボドライバ性能

サーボドライバは、AGV駆動用途に特化した設計となっている。ギヤモータの特性に合わせた最適なゲイン調整を行っていることから、高い速度応答性でギヤモータを制御することができる。回転検出器はレゾルバを標準としているが、アブソリュートエンコーダをオプション選択することで、より高精度な位置制御も可能である。AGV本体のコントローラとの通信プロトコルは、AGV用途で汎用性が高いCANopen(標準仕様)とModbusRTU(オプション仕様)を採用している。安全機能としてSTO(Safe Torque Off: 異常時に自動で供給電

表1 主要仕様  
Specification

タイプ	ECO						PRO				
サイズ	S			M			M		L		
減速比	21	25	29	21	25	29	22	26	22	26	30
許容ラジアル荷重(N)	1500			3000			6500		10000		
定格出力回転数(r/min)	214	180	155	214	180	155	205	173	136	115	100
定格出力トルク(N・m)	16.0	18.9	18.9	39.3	40.4	40.5	39.3	40.4	84.7	87.5	80.3
許容ピークトルク(N・m)	61.9	73.7	84.8	145	179	207	145	179	294	360	246
ホイール径(オプション)*	180			200			200		250		
回転検出器	レゾルバ(アブソリュートエンコーダ選択可)										
通信方式	CAN open (ModbusRTU選択可)										
安全機能	STO(セーフトルクオフ)選択可										

\*標準仕様はホイールなし

圧を遮断し、緊急停止させる機能)をオプションとして実装可能である。

## 5 仕様

表1に、smartrisの主要仕様を示す。複数のサイズと減速比をラインアップすることで幅広い仕様に対応可能である。

## 6 特長

AGV用駆動ユニット smartrisの特長を次に示す。

### (1) 高い走行性能

サーボ制御により、高効率かつ高出力回転を実現している。最適なホイールを用いることで最高走行速度2.0m/s、最大加速度1.0m/s<sup>2</sup>での運転が可能である。

### (2) 幅広い可搬質量

複数のサイズと減速比をラインアップすることで、多種多様なAGVに対して最適な選定が可能である。

### (3) コンパクトなインホイール構造

減速部のコンパクト性を生かしたインホイール構造により、AGVの省スペース化を実現している。

### (4) 高いメンテナンス性

減速部に長寿命グリースを採用しており、メンテナンス頻度が少ない。

### (5) 幅広い制御オプション

回転検出器、通信プロトコル、STOなどのオプションが充実しており、さまざまな顧客要求に対応可能である。

## 7 今後の展開

AGVは、今後も全世界的な需要増加が見込まれるが、それに伴い安全に関する規制や規格も厳密になっていくと予測される。実際に2020年には、ISO 3691-4 : 2020 (産業車両-安全要求事項及び検証-第4部: 無人産業車両及びシステム) が発行され、既存のJIS D6802 : 1997 (無人搬送車システム-安全通則) も2020年に改正作業が着手された。これらの安全に関する規制や規格への対応も含め、需要増加に伴って生まれる新たな顧客要求に応えるべく、smartrisシリーズの拡張・

改良を行っていく。

## 8 おわりに

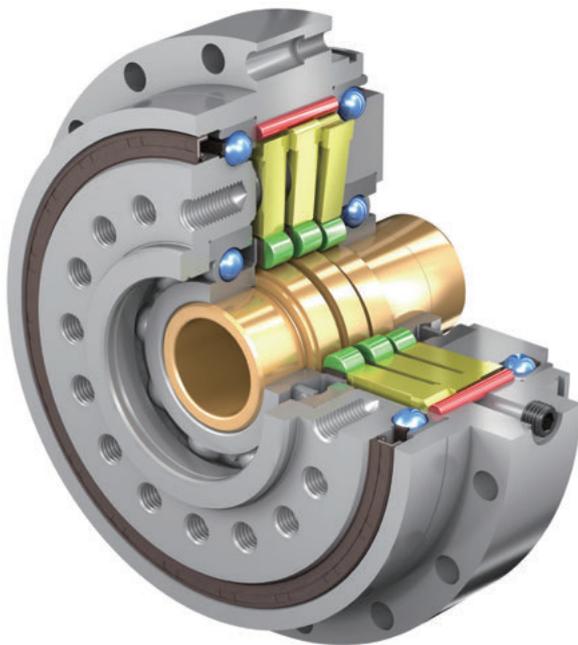
- (1) AGV駆動ユニットとして減速機、モータおよびドライバをパッケージ化したsmartrisを開発した。
- (2) 高い走行性能、幅広い可搬質量に加えて幅広いオプション対応により、さまざまな顧客要求への対応が可能となった。

これからも顧客や社会の発展に貢献すべく、付加価値を高めた商品やサービスを提供していく所存である。

※「smartris」および「アルタックス」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 DA シリーズ 小型枠番追加

## Expansion of Small Size in FINE CYCLO DA Series



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。特に、自動車部品や電子デバイスなどの生産ライン向け可搬重量20kg以下の小型ロボットは、今後も大きな市場成長が見込まれており、それとともに技術開発競争は激しさを増している。なかでも、ロボットのさらなる小型化・高速化は常に求められており、これらの用途で使用される減速機に対しては、コンパクトでありながら高トルク負荷に耐えられ、高いねじり剛性・曲げ剛性を有することが要求される。

そこで当社は、こうした市場要求に対応すべく、可搬重量20kg以下の小型ロボットをメインターゲットとしたDAシリーズの小型枠番を開発した。当社の強みであるサイクロ減速機の最適化技術により、ニーズを満たした減速機になっている。

今後も顧客のニーズを捉え、商品力をブラッシュアップし、ロボット市場の発展に貢献していく。

許容ピークトルク	300N・m
許容モーメント	450N・m
潤滑方式	グリース潤滑

### 特 長

- (1) 曲線板の歯形形状の最適化設計により、高許容トルク化・高剛性化を実現した。
- (2) アンギュラ玉軸受の専用設計により、高許容モーメント化を実現した。
- (3) サイクロ減速機独自の滑らかな曲線歯形により、優れた耐衝撃性を実現した。

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

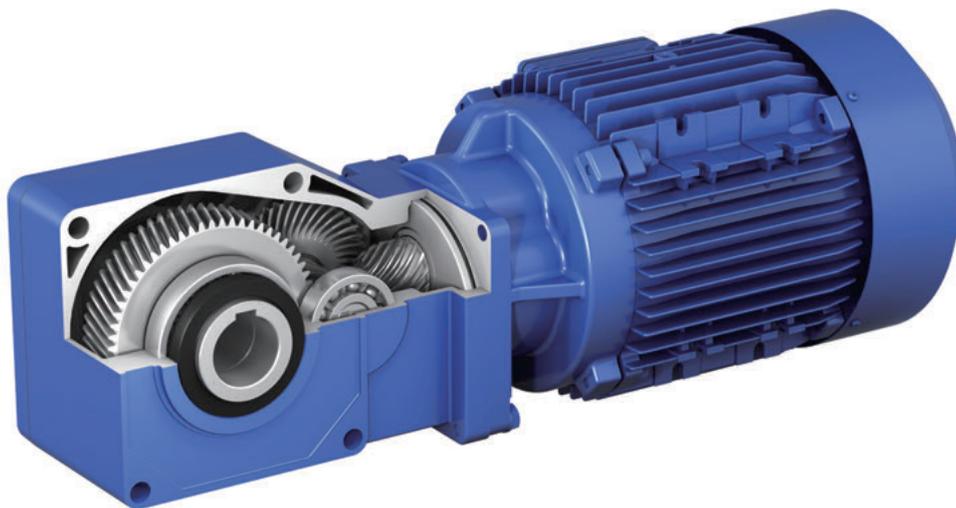
### 主要仕様

枠番	DA10
減速比	41, 59, 89
外径	φ110
重量	2.4kg
ロストモーション	1min以下
定格トルク(@出力 15r/min)	164N・m(41比) 147N・m(59比) 130N・m(89比)

(PTC事業部 金 鐘剛)

# ベベル・バディボックス減速機 Hシリーズ IE5モータ直結タイプ

## Bevel BUDDYBOX H Series IE5 Motor Type



近年、世界的な電力などの省エネルギー化および脱炭素意識の高まりからギヤモータに対する高効率化への要求が高まっており、モータ効率に関する法規制が各国で進められている。高まる市場要求に応えるべく、当社は2022年にIE5モータ仕様ベベル・バディボックス減速機Hシリーズ(BBB-Hシリーズ)を新たに開発した。

本ギヤモータは、当社が2017年に高速物流システム向けに発売したBBB-Hシリーズをベースとしており、電磁部にLafert社製の新設計IE5磁石モータを搭載している。機械寿命に大きく関わる減速部の設計は従来のBBB-Hシリーズと同一であることから、BBB-Hシリーズの持つ信頼性に加え、ベベルギヤ機構とIE5磁石モータを融合させた最高クラスの高効率特性を有する。

効率減速機構の組合せによる最高クラスの高効率を実現した。

### (2) 減速部のコンパクト性

中空軸専用設計により、ギヤケース形状を最適化しコンパクト性を実現した。

### (3) 長寿命による高い信頼性

メンテナンス性を考慮し、ハイポニック減速機およびBBB-Hシリーズ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実現した。

※「バディボックス」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

## 主要仕様

減速機タイプ	直交軸中空軸タイプ
モータ容量	0.75 ~ 4.0kW, 4P
モータ電源	三相 400V 50Hz/60Hz, 440V 50Hz/60Hz
枠番	HY420, HZ521, HZ522, HA635
減速比	5 ~ 30 比
潤滑方式	グリース潤滑

## 特長

### (1) 高効率減速機構

IE5高効率モータと、ベベルギヤ+ヘリカルギヤの高

(PTC事業部 尾崎 圭太郎)

---

## 住友重機械技報第211号発行に当たり

---

住友重機械技報第211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ので、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。

2023年9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) _____  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 - 2357	(発信元) _____  貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.
--	--

**住友重機械技報第211号の送付先の確認と読后感などの件**

<b>送 付 先 変 更</b>	(旧送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____	<b>➔</b>	(新送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____
----------------------------------	--	----------	--

<b>新 規 送 付 先</b>	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 _____ 〒 _____ <div style="text-align: right; margin-top: 10px;">           必要部数 _____ 部         </div>
----------------------------------	---

<b>本 号 の 読 後 感 に つ い て</b>	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。
--	---

キ  
リ  
ト  
リ  
線

## 主要営業品目

### メカトロニクス

- ギヤモータ:サイクロ減速機, ハイボニック減速機, アステロギヤモータ
- 大型ギヤボックス:パラマックス減速機, 特定用途向け減速機, カップリング
- 精密制御用減速機:精密制御用サイクロ減速機, 精密制御用Eサイクロ減速機, サーボモータ用遊星歯車減速機 IBシリーズ
- モータ・インバータ:インバータ, Lafert/Invertek
- ドライブソリューション:AGV/AMR用ドライブソリューション Smartris
- 自律移動ロボット:KeiganALI
- 精密位置決め装置:SA/SL Series 小型サーフェイスステージ, TL Series スタック型リニアガイドステージ
- レーザー関連装置
- 制御システム:Roll to Roll 搬送装置向け駆動制御システム
- モーションコンポーネント:高性能モーションコントローラ MG78, 高精度サーボドライブ SDLN/SDPH, コアレスリニアモータ SM/SL/SSL, エアアクチュエータ Airsonic 50N
- 協働ロボット

サイクロ, サイクロ減速機, ハイボニック減速機, アステロ, パラマックス, Smartris, AIRSONICは, 住友重機械工業株式会社の登録商標です。

### インダストリアル マシナリー

- 射出成形機:Zero-molding, ダイレクトドライブシステム
- 封止プレス
- 極低温冷凍機:GM 冷凍機, パルスチューブ冷凍機, GM-JT 冷凍機, ソルバイ冷凍機
- クライオポンプ

- イオン注入装置
- PET用サイクロトロンシステム
- PET用薬剤合成システム
- 陽子線治療システム
- 真空成膜装置
- 鍛造プレス
- STAF (Steel Tube Air Forming)
- リフティングマグネット
- 非破壊検査
- スピニングマシン
- クリーンルームシステム
- 集塵装置:新型パルス式バグフィルタ エコバルサー
- 圧延用ロール
- 平面研削盤:CNC 門形平面研削盤 KSL Series, CNC 門形平面研削盤 KSL-F Series, 立軸円テーブル形平面研削盤 SVR Series, 立軸円テーブル形平面研削盤 SPG Series
- クーラント処理装置
- ラミネータ装置:コンバイニングアダプター, SPS7000 オートTダイ, コンピュータコントロールシステム MACS-Win

Zero-molding, STAFは, 住友重機械工業株式会社の登録商標です。  
エコバルサーは, 日本スピンドル製造株式会社の登録商標です。

### ロジスティクス&コンストラクション

- 油圧ショベル
- 道路機械
- クローラクレーン
- 基礎工事用機械(アースドリル, 地盤改良機など)
- 運搬荷役機械:連続式アンローダ(パケットエレベータ型)
- 物流システム
- 機械式駐車場
- フォークリフト

### エネルギー&ライフライン

- 循環流動層(CFB)ボイラ
- バブリング流動床(BFB)ボイラ
- 液化空気エネルギー貯蔵(LAES)
- ロータリーキルン式再資源化設備
- 電気集じん機
- 灰処理設備
- 蒸発・晶析装置
- 流動床ガス化炉:空気式/酸素-蒸気式
- 廃熱ボイラ
- 廃棄物発電プラント
- CFB スクラバ
- バグフィルタ式排ガス処理装置
- 排煙脱硝装置(選択接触還元法/無触媒脱硝法)
- デジタルサービス(プラント運用支援システム)
- 産業排水処理施設
- 下水処理施設:メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置ミクラス
- 蒸気タービン
- プロセスポンプ
- 蒸留・抽出設備
- 反応容器
- 攪拌槽
- コークス炉機械
- 食品・飲料製造設備
- オイルタンカー

ミクラスは, 住友重機械エンパイロメント株式会社の登録商標です。

※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)			
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 <https://www.shi.co.jp/>

## 技報編集委員

委員	鈴木 哲史	委員	阿部 昌博
	廣田 真人		白澤 克年
	井上 千晶		野口 真人
	梶谷 純平		中川 崇
	針ヶ谷 崇		霜島 貴之
	有吉 政博		坂根 剛
	石川 賢治		石倉 武久
	諏訪 義和		志摩 孝洋
	幾島 悠喜		前野 亮一
	小林 友和	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211号 非売品

2023年9月10日印刷 9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 046-869-2300

発行人 千々岩敏彦



住友重機械工業株式会社  
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.



Printed in Japan