
住友重機械 技報

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES
TECHNICAL REVIEW

住友重機械技報 No. 199 2019

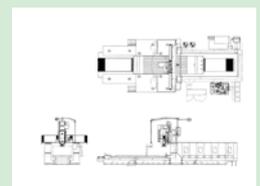
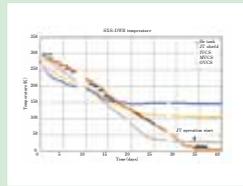
論文・報告	Roll to Roll用高精度エアダンサユニット ADU-ASシリーズ	三好清人, 安藤高虎	1
	ナノ秒パルスレーザーの特長とアプリケーション紹介	小西正悟, 戸上 真	5
	X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線分光検出器の寒剤フリー冷却	金尾憲一, 吉田誠至, 恒松正二, 大塚清見, 宮岡幹夫	9
	連続3点式真直度測定システムの開発	市原浩一, 高 娜	13
技術解説	クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F 8シリーズ	横田和幸	17
新製品紹介	CYPRIS HM-10用金属元素放射性核種製造システム		21
	立軸円テーブル形平面研削盤 SVR80		22
	精密平面研削盤 KSH-870		23
	クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F22150 (U)		24
	クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F2560 (U)		25

T/PAPERS	High Precision Air Dancer Unit ADU-AS Series for Roll to Roll Kiyoto MIYOSHI, Takatora ANDO	1
	Feature of Nanosecond Pulsed Laser Oscillator and Application Introduction Shogo KONISHI, Makoto TOGAMI	5
	Cryogen Free Cooling of ASTRO-H SXS Helium Dewar from 300K to 4 K Kenichi KANAOKA, Seiji YOSHIDA, Shoji TSUNEMATSU, Kiyomi OTSUKA, Mikio MIYAOKA	9
	Development of Continuous 3-point Straightness Measurement System Kouichi ICHIHARA, Na GAO	13
T/INVITATIONS	Double Column Type Surface Grinding Machine KSL-F8 Series Kazuyuki YOKOTA	17
NEW PRODUCTS	CYPRIS HM-10 Metallic Radioisotopes Production System	21
	Vertical Spindle Rotary Surface Grinding Machine SVR80	22
	Precision Surface Grinding Machine KSH-870	23
	Double Column Type Surface Grinding Machine KSL-F22150(U)	24
	Double Column Type Surface Grinding Machine KSL-F2560(U)	25

No.199 Aug. 2019

住友重機械技報

Sumitomo Heavy Industries Technical Review



Roll to Roll用高精度エアダンサユニット ADU-ASシリーズ

High Precision Air Dancer Unit ADU-AS Series for Roll to Roll

●三好 清人* 安藤 高虎*
Kiyoto MIYOSHI Takatora ANDO

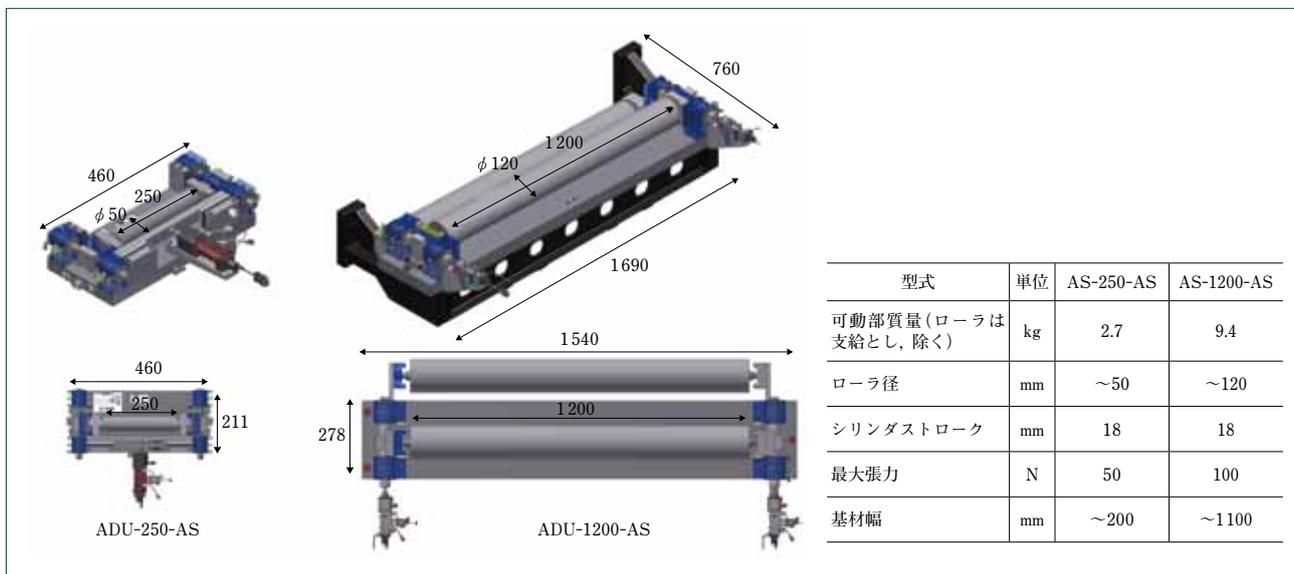


図1 高精度ダンサユニット ADU-ASシリーズ
High precision dancer unit ADU-AS series

近年、PE(Printed Electronics)の実現のほか、薄膜や新素材の極低張力搬送など、Roll to Roll方式生産装置の高度化が求められつつある。高度化を実現する要素の一つとして、フィルムや紙などウェブの搬送時や巻出し・巻取り時の張力制御の高精度化がある。当社ではこれら張力制御の高精度化に取り組み、高精度エアダンサユニットADU-ASシリーズを開発し、リリースした。ADU-ASシリーズでは、高精度な張力制御を実現すべく、ダンサ機構やエアシリンダの摩擦を極力低減し、専用のコントローラで推力を高精度・高応答で制御している。

In recent years, the advancement of Roll to Roll production equipment has been required, such as realization of PE (Printed Electronics) and ultra-low tension conveyance of thin films and new materials. As one of the elements for advancement, there is an improvement in the accuracy of tension control at the time of conveyance, unwinding and winding of web such as film and paper. We worked on high precision of these tension controls and developed and released high precision air dancer unit ADU-AS series. In the ADU-AS series, in order to realize high precision tension control, the friction of the dancer mechanism and air cylinder is reduced as much as possible, and the thrust is controlled with high precision and high response by a dedicated controller.

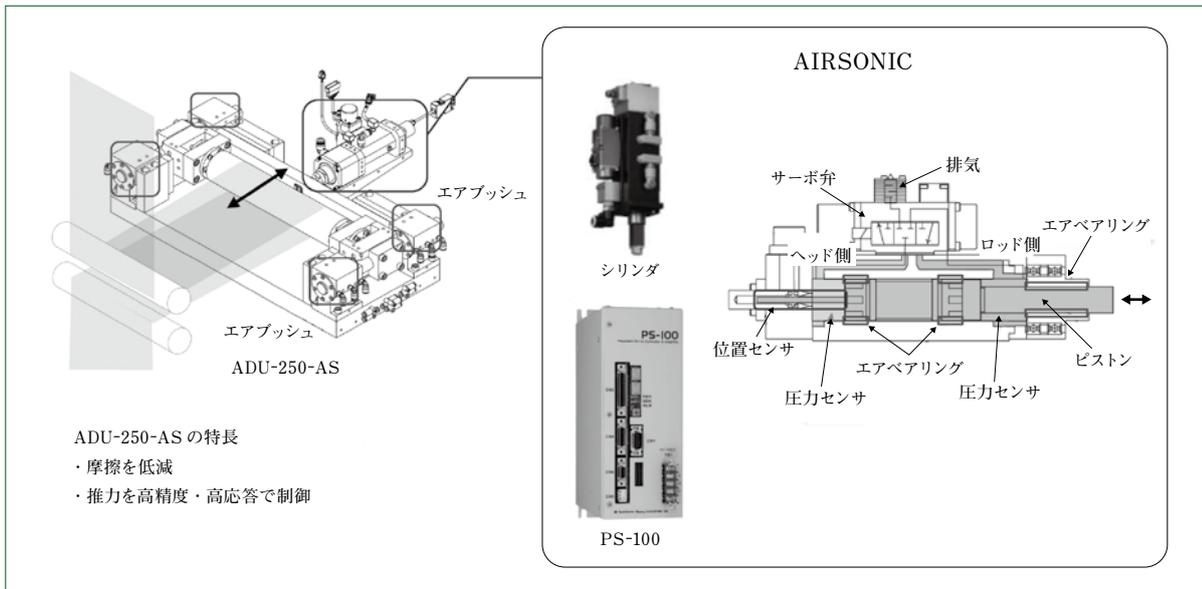
1 まえがき

コータやグラビア印刷機などRoll to Roll方式の生産装置においては、フィルムや紙といったウェブに一定の張力を与えて搬送し、塗工や印刷、スリットなどさまざまな加工をインラインで行う。このとき、加工の対象となるウェブに与える張力が適正でない場合や、張力に変動が生じてしまうと印刷ズレや塗工ムラなどの加工不良、ウェブのたわみや延伸、破断などの搬送不良、巻きズレ・巻きじわ、変形といった巻き姿不良の原因となる。このことから、ウェブの張力を適正かつ精度良く制御することが重要となる。

特に近年、Roll to Roll方式によるPE(Printed Electronics)

の生産方式確立に向けた印刷や塗工の高精細化、製品の小型化・軽量化に向けたウェブの薄膜化、新素材を使ったフィルムの出現などにより、張力変動抑制能力の向上や極低張力での搬送など張力制御のさらなる高精度化が求められつつある。

当社は、長年コータやグラビア印刷機をはじめとするRoll to Roll方式生産装置の制御システムを手掛けている。具体的には搬送ローラの駆動やそれを用いた張力制御システム、巻出し・巻取り制御システムなどであるが、今回、張力制御の高精度化に取り組み、Roll to Roll方式生産装置用高精度エアダンサユニットADU-ASシリーズを上市したので本報で紹介する。



ADU-250-AS の特長
 ・摩擦を低減
 ・推力を高精度・高応答で制御

図2 ADU-ASシリーズの特長
 Features of ADU-AS Series

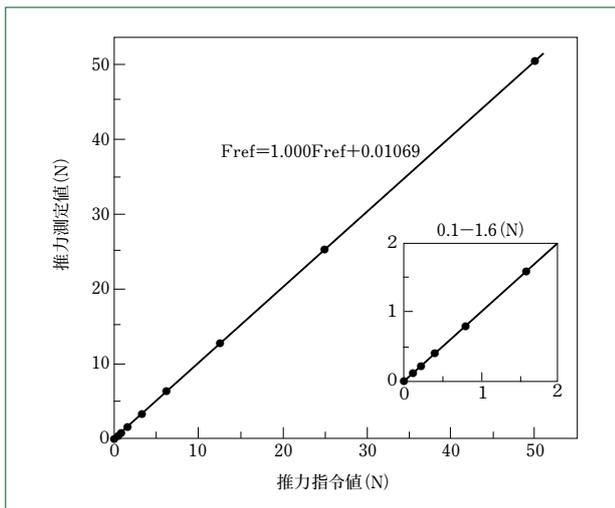


図3 推力制御性能 (AIRSONIC 単体)
 Thrust control performance (AIRSONIC only)

2 ADU-AS シリーズ

図1に、Roll to Roll方式生産装置用高精度エアダンサユニットADU-ASシリーズおよびその諸元を示す。今回はローラ面長250mmのADU-250-ASおよびローラ面長1200mmのADU-1200-ASを上市した。ADU-250-ASの対応できる最大張力は50N、ADU-1200-ASの最大張力は100Nである。

図2に、ADU-ASシリーズの特長を示す。張力変動抑制能力の向上や極低張力での搬送などに対応するに当たっては、ダンサ機構やエアシリンダ摺動部の摩擦力、電空変換器など空圧制御機器の制御精度や応答性が阻害要因となる。フィルムや紙などウェブの張力Tは、ウェブのヤング率をE、幅をW、厚みをt、零張力条件下での長さをL₀、伸びをΔLとすると(1)式のように表すことができる⁽¹⁾。

$$T = EWt \Delta L / L_0 \dots\dots\dots (1)$$

ダンサローラによる張力制御の場合、ウェブの張力変動に応じてウェブの張力とエアシリンダの推力とが釣り合う位置までダンサローラが移動することによりL₀が変化し、張力Tを一定に保つ。したがってダンサ機構やエアシリンダ摺動部の摩擦力が大きいと張力制御精度が悪化する。また、空圧制御機器の空圧制御精度・応答が悪いと、エアシリンダにより発生する推力の精度・応答が悪化することになり、張力変動を十分に吸収することができなくなる。

このことからADU-ASシリーズのダンサ機構部では、摩擦力を極力低減している。ウェブの張力変動に応じてダンサローラは矢印に示す水平方向に移動するが、移動時の摩擦力を低減すべく摺動部にはエアプッシュを採用している。また、ダンサローラを精密に駆動させるべく、ダンサローラの重心点とエアシリンダの合力が一致するような設計としている(特許第6479588)。さらに、可動部にはエア配管や配線などのない設計としており、微小な抵抗も発生させないよう工夫している。

エアシリンダシステムには当社の高精度エアシリンダシステムAIRSONICを使用している。AIRSONICでもピストンの摺動部各所にエアベアリングを採用し、摺動時の摩擦力の低減を図っている。ダンサ機構とAIRSONICとの連結部には弾性ヒンジを使用して回転自由度を持たせ、ダンサ機構で発生する微小なひずみを吸収し、AIRSONICのエアベアリング部に伝わらないような工夫を加えている。

AIRSONICでは圧力センサでヘッド側およびロッド側の圧力を計測している。摩擦力を極力低減していることから、これらの差圧からピストンにより発生している推力を推定することができ、空圧モデルを組み込んだ専用コントローラPS-100およびサーボ弁により高精度・高応答にエアシリンダ推力を制御することができる。

図3に、AIRSONIC単体での推力制御性能を示す。本図は

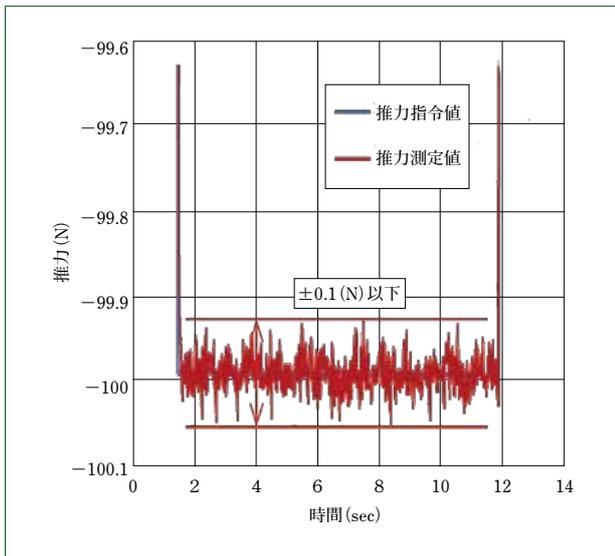


図4 推力制御性能 (ADU-250-AS)
Thrust control performance (ADU-250-AS)

定格推力50Nシリンダでの性能であるが、0.1~50Nの制御範囲全域で、特に低推力の制御においてもバラツキが小さく、直線性の高い推力制御精度を実現している。

図4に、ローラ面長250mmユニットADU-250-ASでの推力制御性能測定例を示す。-100Nで引っ張り方向に推力制御を行ったとき、±0.1N以下のバラツキで安定した制御を実現している。

3 ADU-AS シリーズの Roll to Roll 方式 生産装置適用例

実際にRoll to Roll方式生産装置に高精度エアダンサユニットADU-ASシリーズを搭載し、フィルム搬送試験を行ったので紹介する。

まず、ローラ面長250mmユニットADU-250-ASを当社Roll to Roll試験装置に適用した例を図5に示す。試験装置のフィードローラに0.1~5Hzで±0.5m/minの速度変動を与えたときの通常ダンサ(巻出し部)およびADU-250-AS(巻取り部)の張力変動を比較した。試験は厚み25μm、幅200mmのPETフィルムを設定張力10N、速度5m/minで搬送して行った。通常ダンサにより張力制御を行っている巻出し部では、速度変動を与え始めたところから±0.5N程度の張力変動が発生している。それに対し、ADU-250-ASを使用して張力制御を行っている巻取り部では、張力変動を約1Hzまで±0.1N程度に抑制できていることが分かる。なお、ダンサローラの可動範囲は有限長であることから、ダンサローラで実際に張力制御を行う場合、ダンサ位置フィードバックにより巻出しや巻取り駆動用モータの回転数を増減し、ダンサローラの位置を可動範囲内に制御する。位置制御のゲインを高くし、ダンサローラがあまり移動しないようにする調整がよく行われるが、ダンサローラの移動による張力変動抑制の妨げになるので、可動範囲を逸脱しない程度の調整としている。

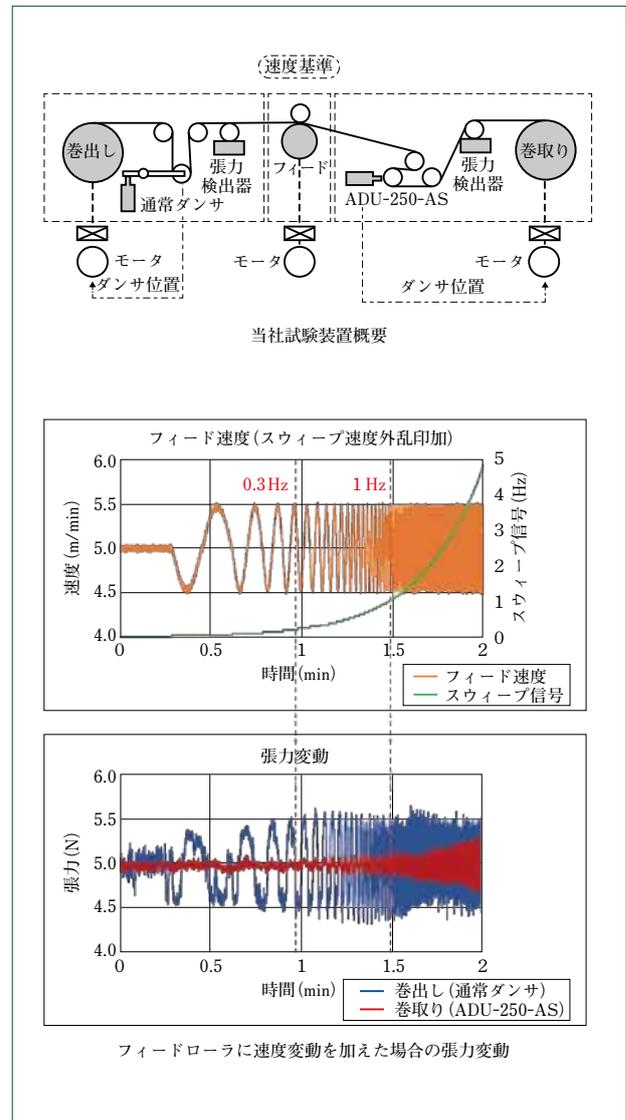


図5 フィルム搬送試験 (ADU-250-AS)
Film transport test (ADU-250-AS)

次にローラ面長1200mmユニットADU-1200-ASを顧客のRoll to Roll試験装置に適用した例を図6に示す。フィードローラに0.02~1.5Hzで±1m/minの速度変動を与えたときの通常ダンサおよびADU-1200-ASの張力変動を比較した。試験は厚み20μm、幅1000mmのOPPフィルムを設定張力15N、速度5m/minで搬送し、通常ダンサでの張力制御とADU-1200-ASでの張力制御を切り替えて行った。通常ダンサが約0.2Hz以上において張力変動が拡大しているのに対し、ADU-1200-ASは0.8Hz程度まで張力変動を抑制できていることが分かる。

図7に、設定張力を10、15、30、50N、搬送速度を5、10、50、100、200m/minとした場合の通常ダンサおよびADU-1200-ASの張力変動の比較を示す。通常ダンサでは速度を上げるのに従い張力変動が大きくなっているが、ADU-1200-ASでは速度の変化による張力変動の変化があまり見られないことが分かる。

このフィルム搬送試験により、摩擦力を極力低減し、推力

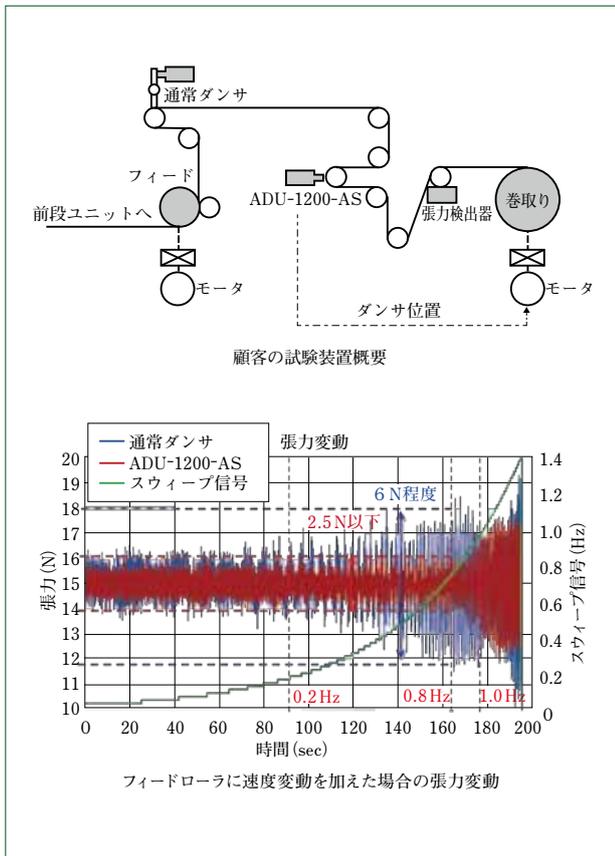


図6 フィルム搬送試験(ADU-1200-AS) 1
Film transport test (ADU-1200-AS) 1

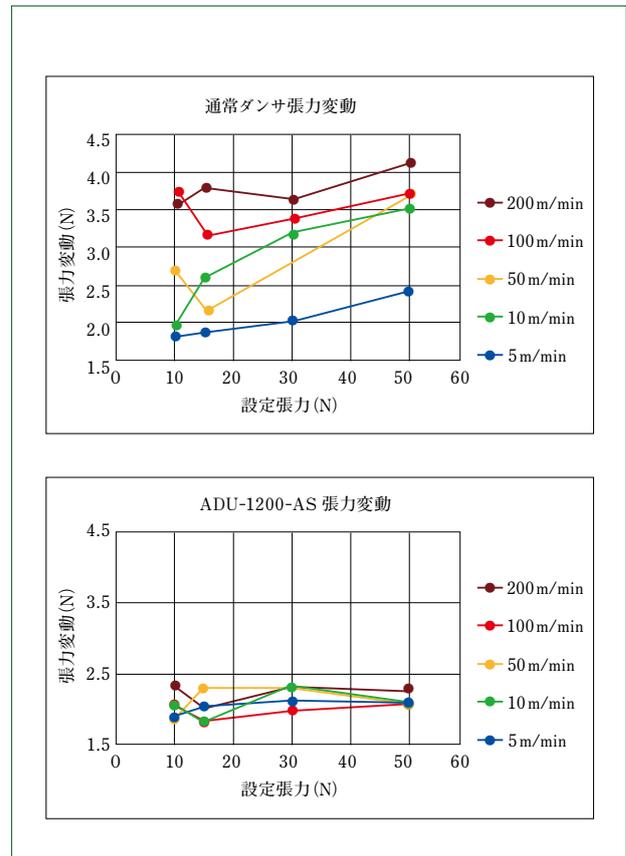


図7 フィルム搬送試験(ADU-1200-AS) 2
Film transport test (ADU-1200-AS) 2

を高精度・高応答に制御する高精度エアダンサユニット ADU-ASシリーズの張力変動抑制性能が有用であることが確認できる。

4 むすび

Roll to Roll方式生産装置の張力制御において、張力変動抑制能力の向上や極低張力での搬送に向けて上市した高精度エアダンサユニットADU-ASシリーズについて紹介した。

ADU-ASシリーズは、ダンサ機構やエアシリンダ摺動部の摩擦力を低減することで、エアシリンダの推力を高精度・高応答で制御できるという特長を持つ。

PEの生産方式確立などRoll to Roll方式生産装置の高度化には、張力制御だけでなく搬送速度制御の高精度化などさまざまな課題がある。当社ではこれらの課題についても継続して取り組み、Roll to Roll方式生産方式の発展に貢献していきたい。

(参考文献)

- (1) 橋本 巨, 入門ウェブハンドリグ, 株式会社加工技術研究会, (2010), 37・38.

※「AIRSONIC」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

ナノ秒パルスレーザーの特長とアプリケーション紹介

Feature of Nanosecond Pulsed Laser Oscillator and Application Introduction

●小西正悟* 戸上真*
Shogo KONISHI Makoto TOGAMI



SPI Lasers社製 redENERGY G4
redENERGY G4 made by SPI Lasers Limited

近年、金属加工分野において利用されることが当たり前となったファイバレーザーだが、レーザー発振器の性能向上に伴って一般的な金属材料の溶接・切断のみならず、より幅広い分野への応用が可能となっている。特に高ピーク短パルスレーザーの登場はこれまでのファイバレーザーでは成しえなかったプロセスを可能にした。また、高ピーク短パルスレーザーの得意とする微細な領域での加工は、自動車産業をはじめとした各分野で現在ニーズが高まっている。本報では、当社が取り扱うレーザー発振器であるredENERGY G4を例として、数あるレーザー発振器の中でも比較的新しいナノ秒パルスレーザーの特長および一般的なレーザーでは加工を行うことができないプロセス技術について紹介していく。

Fiber laser has been becoming quite common in metal processing field over the past few years. Along with the improvement of performance of laser oscillator, not only basic process such as cutting and welding but also new processing for a wide range of fields have become possible. In particular, appearance of high peak/short pulse laser oscillator enabled new processing that conventional fiber laser oscillator couldn't process. Furthermore, in many industries such as automobile industry there is an increasing demand for micro processing that is strong point of high peak/short pulse laser oscillator. This article describes some features of nanosecond pulsed laser that is a relatively newer laser oscillator than other laser oscillator. Also, we describe some feature of nanosecond pulsed laser oscillator "redENERGY G4" that has been handled Mechatronics division and some unique process with redENERGY G4.

1 まえがき

自動車業界を中心に溶接・切断・穴あけなどの金属加工を担ってきたYAGレーザーがその役割をファイバレーザーへと移行し始めて10年以上が経過した。ファイバレーザーが業界のスタンダードとなった現在、アプリケーションの多様化によりその活躍の場も多岐にわたっている。出力が100kWを超えるレーザーが登場する一方、熱影響が小さく微細で高品質な照射が求められる分野においてもその性能がユーザーにより高く評価され、すでに多くの実績を残している。

微細加工分野においてファイバレーザーが高く評価される理由としてあげられるのが、非常に高いピーク出力と極めて短

いパルス幅を持つパルスレーザーの出現である。パルス幅の種類もナノ秒～フェムト秒と幅広く、アブレーション加工、レーザーマーカ、金属表面のクリーニングなど、アプリケーションに合わせてユーザーが自由に選択できる環境が整っていることも理由の一つと言える。本報では、当社で取り扱っているナノ秒パルスレーザーについて、その特長やアプリケーションの実例を説明する。

2 ナノ秒パルスレーザー redENERGY G4⁽¹⁾

当社は、英国SPI Lasers社が開発したナノ秒パルスファイバレーザーredENERGY G4シリーズを取り扱っている。このredENERGY G4は、パルスピーク出力 ≥ 10 kW、繰返し周

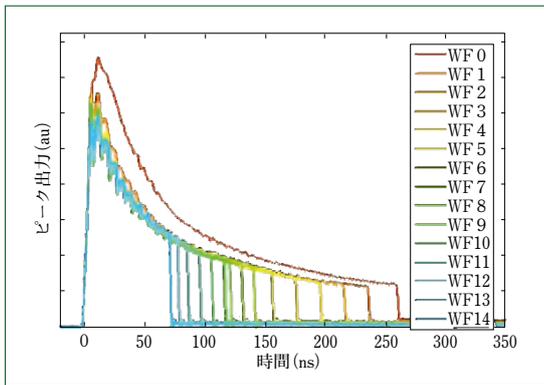


図1 redENERGY G4の持つパルス波形
Pulse waveforms of redENERGY G4

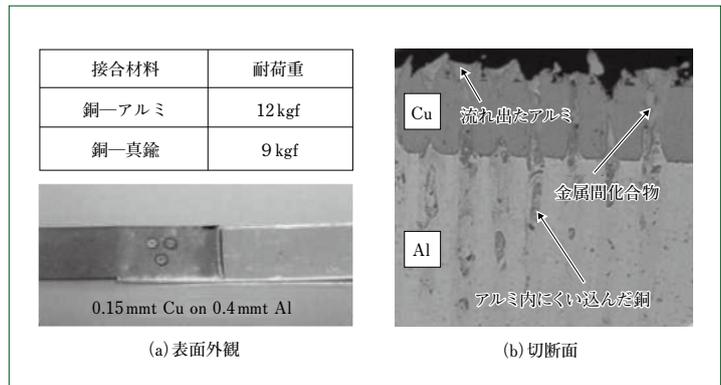


図2 ステーキング工法における表面外観および切断面
Surface and cut section after laser staking process

波数 $>50\text{kHz}$ といった特長を持っており、ほかのレーザー発振器と比較して、入射熱制御の最適化に優れている。このことから、特定のアプリケーション(過剰な入熱や歪み・反りを回避する必要がある薄い材料の接合など)において高い適性を持つ。また、このナノ秒パルスレーザーは、独自のMOPA (Master Oscillator Power Amplifier) 制御技術でレーザー発生の発振器と、そのレーザーを増幅させる光増幅器をそれぞれ独立して制御し、設定されたWaveformと呼ばれる数 ns ~ 500ns 超のなかから最適なパルス形状を選択できる。また、パルス幅に応じた最適な周波数を設定することができ、これにより従来広く使われていたQ-Switch方式と比較し、周波数を上げてピーク出力を保ったまま発振することが可能となっている(図1)。

3 新しいプロセス技術 異種材接合

本章では、redENERGY G4を用いたアプリケーションのなかでも、現在注目を集めている異種材接合について紹介する。異種金属材料の接合は、製品や素材の高機能化を目的とした市場ニーズの高いプロセスであるが、これまで異種金属の溶接(ここでは接合と呼ばず、あえて「溶接」と記述する)が困難であった理由は大きく分けて次の2点である。

- ① 各材料で異なる溶融温度と冷却速度
- ② 脆弱な金属間化合物(合金)の成形

特に②に関しては、生成される金属間化合物の割合によって、溶接後の強度が元々持っている母材強度よりも著しく低下することから異種材溶接の大きな障壁となっている。異種材溶接を困難にしている金属間化合物は溶融プールの界面に現れ、時間と温度にもとづいて生成される。このことから、加熱サイクルを適正にコントロールすることが金属間化合物の生成抑制における重要な要素となる。そこで、入射熱制御性の高いredENERGY G4を用いることで、金属間化合物を抑えながら異種材接合を行うことが可能となる。一般的に高ピーク・短パルスレーザーはその特徴から切断や微細加工に用いられることが多いが、レーザー走査にガルバノシステムを利用し、高速で精度の良いスパイラル動作(らせん状の軌跡)により短パルスレーザー光を対象ワークに打ち込むことで接合状

態を生成することができる。

図2に、銅とアルミの重ねスポット接合における表面外観および切断面を示す。このとき切断面を見ると、異種材料の間に多数の杭打ちがされているような現象が認められることから、ステーキング工法という名が付けられている。一般的な溶接では、加熱された金属が溶けて大きな溶融プールが生成され、2つの異なる金属が互いに混ざり合う現象が起き、混ざり合った部分で脆弱な金属間化合物が生成される。しかし、このステーキング工法では、おのおのの金属の接合部分は複数のマイクロな金属混合で構成されているのみであり、大きな溶融領域を生成していないことが分かる。また、これらの接合部分が生成される時間は1箇所当たり数ナノ秒と加熱時間は最小限に抑えられており、加熱時間に応じて発生する金属間化合物の生成を最小限に抑えることが可能である。高ピーク・短パルスのレーザーで照射された金属の動きとして、融点が低いアルミは銅表面に流れ出し、融点が高い銅が溶融したアルミの内部に複数の杭を打ち込むように移動する。結果、おのおのの金属に引っ掛かり、いわゆるアンカー効果が発生し、高い接合強度が得られている。

redENERGY G4の200W機を用いて、A1050 0.6mmt、下板にC1020 0.4mmtの組み合わせでは、 40N/mm^2 のせん断強度を得ることができた。ただし、杭を打ち込むように接合するので、引き剥がし強度は比較的弱く、 8N/mm^2 という結果が出ている。

現在の最大出力ラインナップである200W機で照射した場合、上材の厚み限界の目安として銅では0.6mmt、アルミでは1.0mmt、吸収率の良いSUSでは2.0mmtという結果が出ている。これらの加工限界は金属の表面状態、下材の材質や厚み、メッキの有無によって変動する。

redENERGY G4のステーキング工法が実際に製品として実用化されている代表例として、バッテリーの電極部分での接合がある。異種材同士の接合に加え、裏面への熱影響が出ないことが求められるが、高い熱制御性をうまく活用し、アルミやニッケルメッキ銅などのバスバーを接合することができた。市場の盛上がりから、redENERGY G4を使用している異種材接合は今後さらに活用の機会が増えると考えられる。



図3 ABS樹脂マーキング
Marking on ABS resin

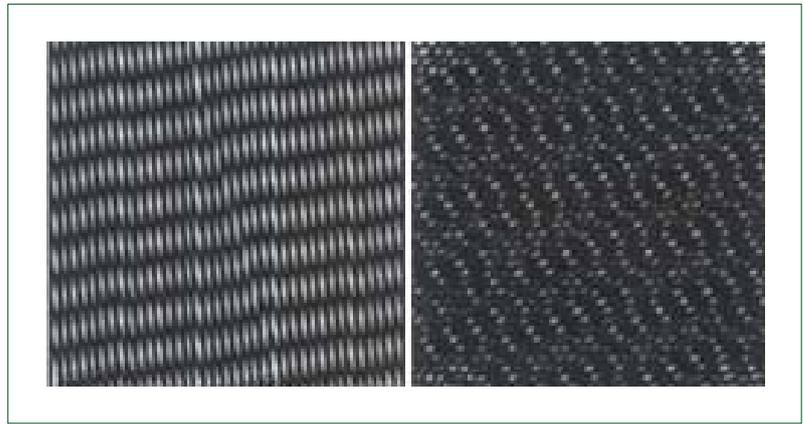


図4 モアレパターン(左)とモアレパターン抑制(右)
Moire pattern and its suppression result with redENERGY G4

4 ナノ秒パルスレーザーによる加工例

3章ではステッピング工法による異種材接合について紹介したが、redENERGY G4ではその特性を生かし、多種多様なアプリケーションに対して適切な加工を行うことが可能である。本章ではredENERGY G4を用いた代表的なアプリケーションを紹介する。

(1) マーキング

元々レーザーマーカ用途として開発されたredENERGY G4は、多種多様な材料に対するマーキング性能において優れた能力を発揮する。図3に、ABS樹脂へのマーキングを実施した例を示す。通常、レーザーを使ったプラスチック上へのマーク生成ではプラスチックの焼けや溶融を避けられないが、短パルス波形を用いることによりそのダメージを最小限に抑えることができる。

ポリカーボネートなどの高分子材料に対しては、ハイコントラストのマーク生成に高エネルギーが必要であることは分かっているが、レーザー照射後に表面が荒れてしまうという問題がある。そこで平均出力が同等となるように、低エネルギーかつ高周波数の条件を採用することで、同じコントラストで滑らかな表面のマークを生成することができる。

さらに、特徴的なマーキング手法の一つとして金属材料に対してのカラーマーキングがある。カラーマーキングにレーザーを使用すること自体は特に真新しい技術ではなく、10年以上前から金属製品や宝飾品の加工用として確立されている技術である。当時このプロセスに対する商業的な関心は低かったが、現在では商品の差別化を目的とした新技術や仕上がりを求める製造メーカーから大きな関心を得る手法となっている。カラーマーキングは、レーザー出力や走査速度を調整して金属表面に生じる酸化膜の厚みをコントロールすることで色彩に変化を与えており、チタンやステンレス鋼などの遷移金属に適応している。

さらに、200W機を使用することで最大800 μ m以上の

深いマーキングを行うことも可能である。一般的にV.I.N.マーキングと呼ばれるもので、Vehicle Identification Numberという名のとおりに、主に車両識別番号用のマーキングとして使用される。一般的な低出力のレーザーマーカでは得ることのできない深い掘込みによってできたマーキングは、上から塗装を行っても番号の識別が可能である。現在、このV.I.N.マーキングは主に海外の自動車メーカーで使用されており、国内においても今後広まっていくと予想される。

(2) 彫刻

金属材料への深堀彫刻(Deep Engraving)においてポイントとなるのが除去率と表面粗さであるが、それを決定付ける要素の一つにレーザー走査角度がある。彫刻を行なう際にはガルバノを使って目的の領域をレーザーキャンしていくが、このとき走査方向の角度が0°や30°などの単純な角度の組合せのみで繰り返された場合、除去率は悪化し表面も粗いという結果となる。これは一般的にモアレパターンと呼ばれる模様である(図4左)。この状態を改善するには、レーザー走査角度に適切な組合わせを選択してモアレパターン化を抑制する必要があるが、最適な走査角度の組合わせを発見し、この問題を改善している(図4右)。

また、走査角度の最適化に加えステンレス鋼の彫刻に対しては、複数のレーザー条件を組み合わせることで表面の品質をコントロールしている。各レーザー条件は彫刻、クリーニング、仕上げ、引き直し、焼入れなどの加工ステップに分類され、それぞれに適切なパルス幅、周波数、ピッチ間隔、走査速度および走査回数を設定することにより高品質な彫刻結果が得られている。

(3) クリーニング

最近、注目を浴びているプロセスが金属表面のレーザークリーニングである。高ピーク短パルスレーザーの特性を生かし、対象素材へのダメージを抑えつつ表面の不要物を除去することが可能である(図5)。主に、金属塗装膜や赤さびなどの自然酸化膜、溶接後の焼け、印刷ロール



図5 金属塗装膜の除去
Removal of coating on metal

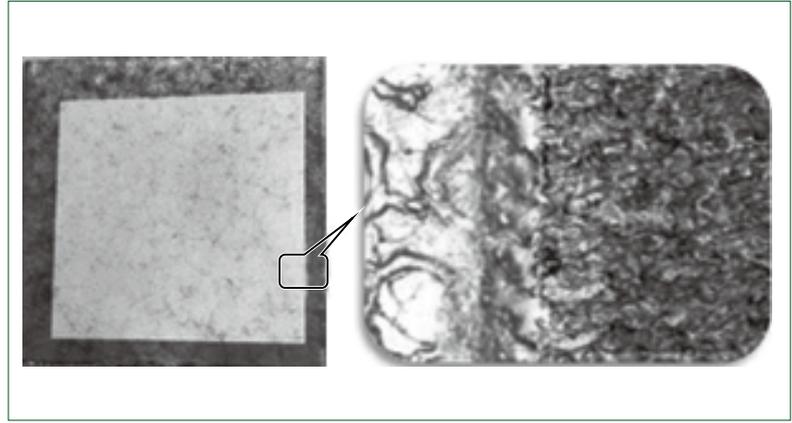


図6 鉄板の赤さび除去
Removal of red rust on iron plate

や金型の汚れなどに対して短時間の高密度エネルギーを照射することにより、素材への熱影響を抑えながら表層領域にある不要物を蒸発させるプロセスである。溶剤を使用しないドライプロセスであることから、後処理が容易で環境にも優しく、レーザー自体も小型で簡易な設備ですむので導入コストも抑えられるというメリットがある。狙ったところだけを部分的に除去できるというのもレーザーならではの長である。図6に、赤さびのレーザー除去の結果と拡大写真を示しているが、基本的に熱プロセスであることにより鉄板表面にはレーザー溶融の痕跡が残っている。また、除去対象の厚み分を蒸発させるだけの投入エネルギーであることから、大きな凹凸や深いスクラッチなどはレーザー照射後も残存する。

(4) 被膜剥離・除去

クリーニングと似たプロセスであるが、銅線の被膜に使用されるPAI(ポリアミドイミド)を代表とする樹脂被膜に対する剥離・除去も注目を浴びている。銅線被膜に使用されるPAIはスーパーエンジニアリングプラスチックの一種であり、その耐熱性、機械的強度および摺動特性の高さから広く使用されている。この銅線被膜はレーザーの吸収率が極めて悪いので下材の金属を含めて除去を行う。下材の金属に最適な入射熱を加える必要があるが、過剰な熱がたまりすぎるとPAIの溶融、または金属への必要以上のダメージを招く。そこで高ピーク・高周波数の特長を持つredENERGY G4を使用することで、樹脂界面の銅のみに熱をためることができ、銅へのダメージを最小限に抑えながら表面のPAIのみを高速で除去することが可能となった。

銅平角線のPAI 50 μ mを完全に取り除くレーザーパラメータで照射した場合、27mm²/sで除去を行うことが可能であった。PAIの除去はレーザーパラメータだけでなくガルバノの走査方法や走査回数によって変わることから、除去品質によって除去速度は変動する。

また、PAIだけでなく、その他樹脂に対しての剥離・除去も可能であるが、樹脂の厚みや色などによって結果

は変動する。

5 むすび

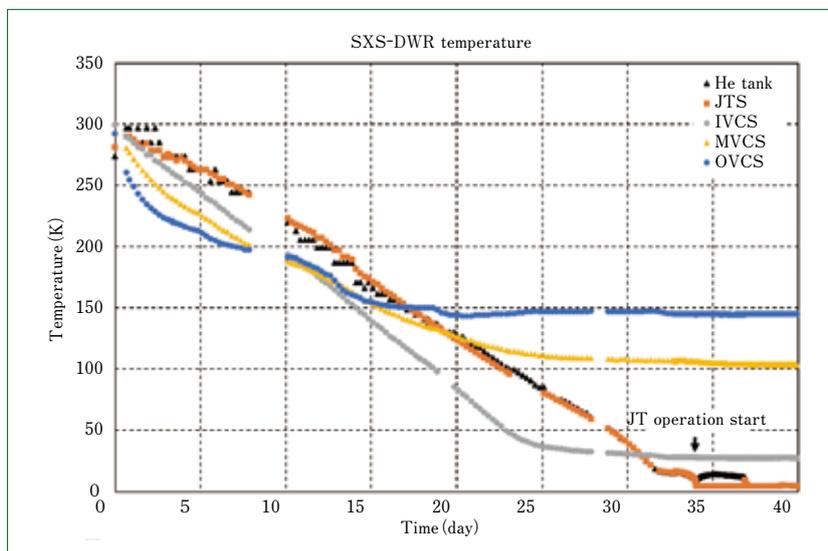
- (1) 当社が取り扱うナノ秒パルスレーザーであるredENERGY G4は数十種類のパルス波形が選択可能であり、幅広いアプリケーションに適応する能力を持つ。
- (2) 高ピークかつ短パルスでの照射により、異種材接合において従来の加工で発生していた金属間化合物の抑制を行うことが可能となった。
- (3) 異種金属接合だけでなくマーキングや彫刻、クリーニングなど、多くのアプリケーションへの加工が可能である。

(参考文献)

- (1) SPI Lasers : Applications Handbook 2015.

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

Cryogen Free Cooling of ASTRO-H SXS Helium Dewar from 300 K to 4 K

●金尾 憲一*
Kenichi KANAOKA吉田 誠至*
Seiji YOSHIDA恒松 正二*
Shoji TSUNEMATSU大塚 清見*
Kiyomi OTSUKA宮岡 幹夫*
Mikio MIYAOKA

デュワー内の温度変化
Temperatures in Dewar during cool down

軟X線分光検出器(SXS)は、X線天文衛星「ひとみ(ASTRO-H)」に搭載された観測装置の一つである。SXSは、多段断熱消磁冷凍機(ADR)で50mKに冷却された検出器を備えている。ADRは、ノミナル運転では液体ヘリウムを用いた1.3Kのインターフェースを熱浴として運転される。液体ヘリウムが消費された後は、機械式冷凍機を用いて冷却する4Kの熱浴で運転される(寒剤フリー運転)。ノミナル運転、寒剤フリー運転ともに地上試験で機能が実証された。本報では、機械式冷凍機のみで300Kから4Kまでの冷却を実施した試験結果を報告する。4K領域の質量はヘリウムタンク、ADR、検出器など35kgである。デュワー(真空断熱容器)に取り付けられた冷凍機は300Kから4Kまで265Wの電力で冷却し、37日目に4Kに到達した(代表図)。

Soft X-ray Spectrometer instrument (SXS) is one of the primary scientific instruments of ASTRO-H. SXS has a cold detector that is cooled to 50 mK by using a multi-stage Adiabatic Demagnetization Refrigerator (ADR). SXS Dewar containing ADR provides 1.3 K heat sink by using liquid helium in nominal operation. After liquid helium is dried up, 4 K heat sink is provided by using mechanical coolers. Both nominal operation and cryogen free operation were successfully demonstrated. This paper describes the test result of cryogen free operation and cool-down performance from room temperature by using only mechanical coolers without liquid helium. The coolers on the Dewar cooled down cold mass from around 300 K to 4 K with 265 W electric power in 37 days. Cold mass is 35 kg in 4 K area including the helium tank, ADR and detector assembly.

1 まえがき

天体観測において遠くの宇宙からやってくる微弱な光を感度良く検出するには、検出器を冷却することが有効である。検出器自体に内在する熱雑音が低減できるからである。また、すべての物質はそれ自体の温度に対応した赤外線を放射しており、天体由来の赤外線を観測する際にはノイズとなる。したがって、検出器以外の望遠鏡や鏡筒などを冷却することも感度向上に有効である。人工衛星に搭載された観測機器で検出器などを冷却する場合には寒剤を用いることが一般的であ

った。特に4K以下の温度が必要な場合は、液体ヘリウムを搭載することが必須であった。液体ヘリウムは、確実に冷却できる反面、蒸発してしまったら観測は終了せざるを得ないというところが弱点であった。これを克服すべく、機械式冷凍機を併用して液体ヘリウムへの熱負荷を軽減し、寿命を延ばす工夫がなされてきた。しかしながら観測時間を長くしたいという要求は強くなる一方で、液体ヘリウムを使って冷却するシステムでは限界があるのは明らかであった。このような背景があり、機械式冷凍機のみで4K以下の温度に到達できるシステムの登場が待たれていた。X線天文衛星「ひとみ

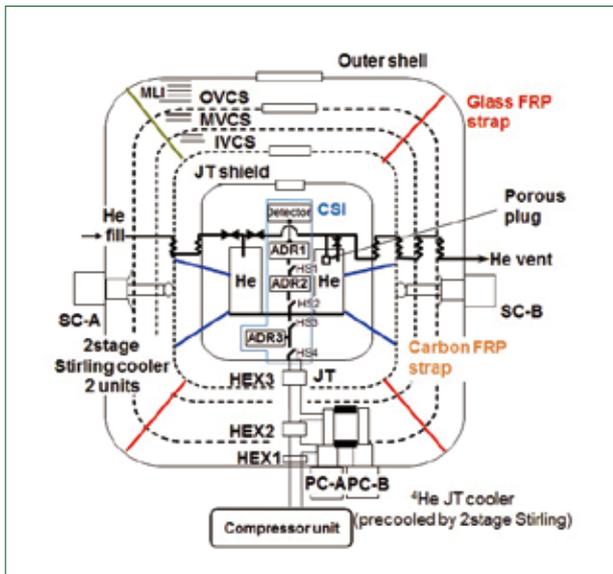


図1 デュワー模式図
Schematic of Dewar

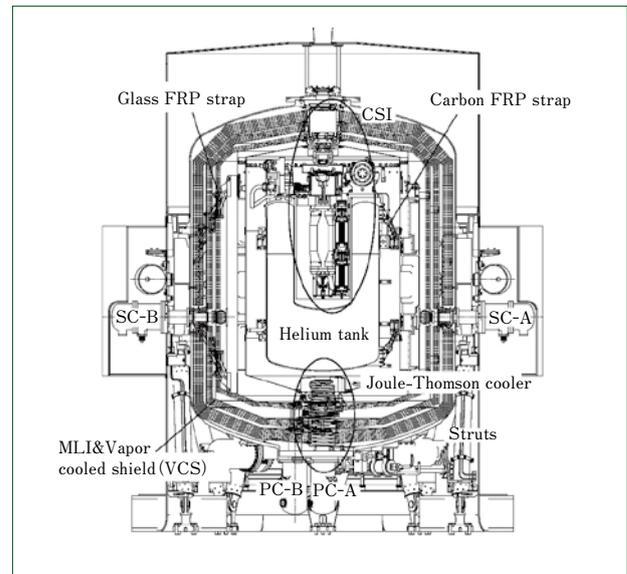


図2 デュワー断面図
Cross section of Dewar

(ASTRO-H)」に搭載された軟X線分光検出器(Soft X-ray Spectrometer instrument : SXS)では、この期待に応えられるように寒剤フリー運転が可能な冷却装置が採用された。

第26号科学衛星「ひとみ」は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構により開発されたX線天文衛星である。2016年2月17日にH2Aロケットで種子島宇宙センターから打ち上げられた⁽¹⁾。「ひとみ」の科学的目的は、ブラックホールの周辺や超新星爆発など、高エネルギーの現象に満ちた極限宇宙の探査や高温プラズマに満たされた銀河団の観測を行うことで、宇宙の構造やその進化を探ることであった。SXSは、「ひとみ」に搭載された観測装置の一つである。SXSは、微弱なX線の検出を目的としてマイクロカロリーメータというX線検出器を備えていた。X線の光子は、物質に吸収されると光子のエネルギーが熱に変わり、物質の温度を上昇させる。このときの温度変化を測定することで光子のエネルギーを知ることができるというのが原理である。温度上昇は微小であるので、検出器を超低温に冷却することが求められる。SXSでは、断熱消磁冷凍機(Adiabatic Demagnetization Refrigerator : ADR)で検出器を絶対零度まであと0.05度に迫る50mKまで冷却した。「ひとみ」は国際協力プロジェクトで、ADRとマイクロカロリーメータの開発はアメリカ航空宇宙局(NASA)が担当した。検出器とADRはデュワーと呼ばれる真空断熱容器内に格納されている。デュワーは検出器およびADRを支持するとともに、ADRが50mKで吸収した熱を排出する熱浴を提供する機能を持っている。デュワーが提供する熱浴の温度は2通りある。液体ヘリウムを用いて1.3Kとする場合と、液体ヘリウムが消費された後に機械式冷凍機だけで冷却する4.5Kの場合である(寒剤フリー運転)。液体ヘリウムと機械式冷凍機を併用する冷却システムではあるが、機械式冷凍機のみでも4Kに到達できる構成になっており、将来計画で期待されている液体ヘリウムを使用しない冷却システムの実証と位置付けることもできる。本報では、デュワーのハイブリッド冷却システムと寒剤フリー運転での冷却試

験結果を述べる。

2 冷却システム

デュワーは、液体ヘリウムと機械式冷凍機を併用するハイブリッド冷却システムである⁽²⁾。図1に、デュワーの模式図を示す。液体ヘリウムタンクがデュワーの中心にあり、その周りを4枚の熱シールドで取り囲んでいる。熱シールドは内側からJoule-Thomson cooler cooled Shield(JTS), Inner Vapor Cooled Shield (IVCS), Middle Vapor Cooled Shield (MVCS), Outer Vapor Cooled Shield(OVCS)である。JTSは、ジュールトムソン膨張を用いた4K冷凍機で、4Kに冷却されておりヘリウムタンクへの熱負荷を低減する。IVCSとOVCSは、蒸発したヘリウムガスで冷却されるだけでなく、2台のシールド用冷凍機(SC-A, SC-B)でも冷却されている。ADR(ADR1~3)と検出器はヘリウムタンクに取り付けられている。打上げ後は、はじめに液体ヘリウムを用いて1.3Kの熱浴を作る。この段階では、3段階構成になっているADRのうちADR1とADR2がHS(ヒートスイッチ)1とHS2を介して1.3Kの液体ヘリウムタンクと接続される。ADR3は動作させない。液体ヘリウムを消費した後は寒剤フリー運転に移行し、ADR3を4K冷凍機とADR2の間で動作させて1.3Kの温度を作る。ADR3はHS3およびHS4を介し、ヘリウムタンクと4KのJTSを接続する。JTSは高純度のアルミニウム製のサーマルリンクで4K冷凍機に接続されている。

図2は、デュワーの断面図である。ヘリウムタンクと4枚の熱シールドは、アウターシェルからFRP製のストラップで支持されている。打上げ時の振動環境に耐えながら、支持構造から伝導で入ってくる熱を低減することを目的として考案された構造である。ストラップの繊維素材は、ガラス繊維と炭素繊維を温度によって使い分けている。OVCS, MVCSおよびIVCSは、ガラス繊維FRPストラップ(Glass FRP strap)を用いてアウターシェルから支持されている。JTSとヘリウムタンクは、IVCSから炭素繊維FRPストラップ(Carbon



図3 ストラップ
Straps



図5 2段スターリング冷凍機
Two-stage Stirling coolers



図4 4 K冷凍機(熱交換器, 予冷機のコールドヘッド)
Joule-Thomson cooler (heat exchanger and PC-B)

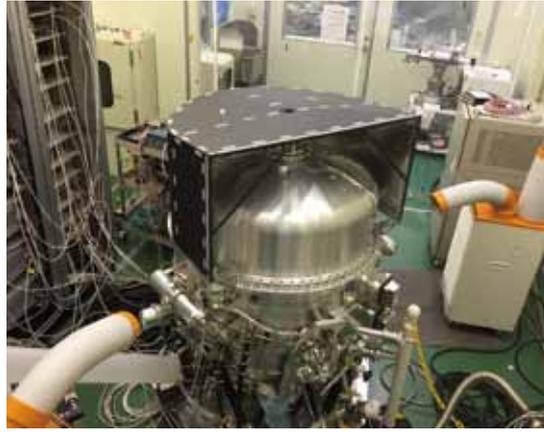


図6 試験セットアップ
Experimental set up

FRP strap)を用いて支持されている。これは炭素繊維の方が低温で熱伝導度が小さくなる特性を持っていることによる。図3に、ガラス繊維FRP製のストラップ(右列)と炭素繊維FRP製のストラップ(左列)を示す。

OVCS, MVCSおよびIVCSの表面には、アルミニウムの蒸着フィルムを積層した多層断熱材(Multi-Layer Insulation: MLI)が装着されている。層数はそれぞれ50層, 30層, 20層である。MLIは縫い合わせたフィルムを積み重ねたものだが、縫い目に隙間ができたり、層間が密着すると断熱性能が低下する。これを回避すべく、輻射シールドの形状に合わせて隙間なく一定の層密度になるように1層ずつ手作業で縫製されている。JTSの内側で4 K以下の領域にある被冷却物はヘリウムタンク, ADRおよび検出器で、その質量の合計は35 kgである。寒剤を使わずに4 Kに到達するシステムは、小規模なものであれば2009年に国際宇宙ステーションに搭載されたSMILESで実証されている⁽³⁾⁽⁴⁾。SMILESのデュワーはSXSよりも小型で、4 K領域の質量はSXSデュワーの1/10である。SXSで35 kgの質量を冷却できたことは、将来計画で用いる観測機器で寒剤フリーなシステムを採用できる可能性を広げたといえる。

続いて機械式冷凍機について述べる。デュワーに搭載されている4 K冷凍機は前述のSMILESに搭載されたものを発展させたもので、2台の予冷機(PC-A, PC-B)とジュールトムソン(JT)冷凍機で構成されている。JT冷凍機は、2台のコンプレッサと熱交換器, JTオリフィスを内蔵する4 Kステージから成る。2台のコンプレッサはそれぞれ低圧用と高圧用

であり、2段圧縮する構成になっている。予冷機には2段スターリング冷凍機を用いている。コンプレッサで圧縮されたヘリウムガスは、PCで予冷されJTオリフィスを通過するときジュールトムソン膨張により4 Kに到達する。4 K冷凍機の冷凍能力は4.5 Kで40 mWである⁽⁴⁾。図4に、4 K冷凍機の予冷機と熱交換器の外観を示す。

シールド用冷凍機(SC-A, SC-B)もPCと同じく2段スターリング冷凍機を用いている。冷凍能力は1段ステージに100 Kで1 W付加した状態で、2段ステージにおいて20 Kで200 mW吸熱できる⁽⁴⁾。1段ステージがOVCSに接続され、2段ステージがIVCSに接続されている。図5に、2段スターリング冷凍機を示す。右列がコンプレッサ, 左列がコールドヘッドである。コンプレッサで圧縮したガスをコールドヘッド内で膨張させることで寒冷を発生させている。

3 寒剤フリー運転試験セットアップ

寒剤フリー運転の実証試験には地上試験用のエンジニアリングモデルを用い、クリーンルーム内の23°C環境で実施した。冷凍機の駆動には衛星搭載用の電源ではなく、市販の電源を用いた。温度測定も衛星搭載用のエレクトロニクスではなく、冷凍機駆動と同様に市販の計測器で実施した。アウターシェル内は、真空断熱を保つべくターボ分子ポンプで排気し、ヘリウムタンク内はあらかじめ真空にしておいた。図6に、試験セットアップの外観を示す。写真の中央がデュワーである。デュワー側面と底面に取り付けられた冷凍機が発熱するので、スポットクーラーで空冷した。

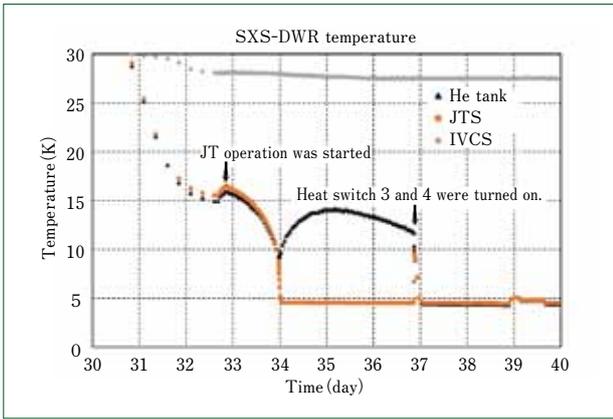


図7 ヘリウムタンク、JTSの温度変化(4K付近)
Temperatures of helium tank and JTS around 4 K

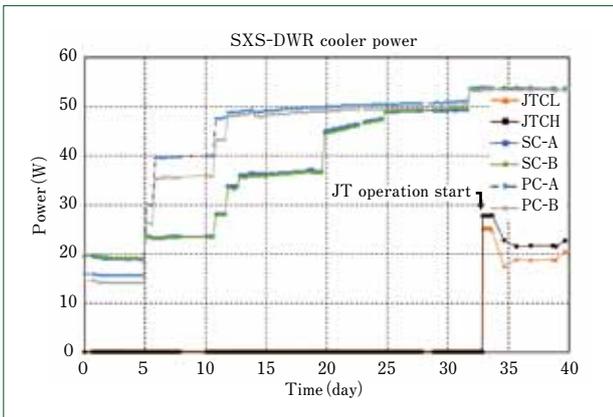


図8 冷凍機の消費電力変化
Power consumption of coolers during cool down

4 試験結果

デュワー内の温度変化を代表図に、ヘリウムタンクが4Kに到達したときを拡大して図7に、冷凍機の消費電力を図8に示す。冷却を開始する時点では、SCを20W、PCを15W、JTを0.1Wで運転した。JT冷凍機は、コンプレッサを運転してPCで予冷したヘリウムガスを循環させ、熱交換器とJTSから内側にあるものを冷却した。温度が低下するのに応じて冷凍機の電力を増加させた。SCに比べPCの方が冷却する対象物が小さいので温度が早く低下することから、SCよりも早く電力を増加させることができた。冷却開始から33日目にJTSが15Kに到達した。この時点でJT冷凍機を循環運転からジュールトムソン膨張させる運転に切り替えた。翌34日目にJTSが4Kに到達した。ヘリウムタンクとJTSの間にあるHS3とHS4は、温度差がある2面間でヘリウムガスを媒介させることで熱のやり取りをする。ヒートスイッチは、10K近傍に冷却されるとヘリウムガスがヒートスイッチ内の吸着材に吸蔵されてOFFになる。これによりJTSから断熱されるので、この時点でヘリウムタンクの温度は10Kである。37日目に吸着材部をヒータで暖めてヘリウムガスを放出させることでヒートスイッチをONにした。これによりヘリウムタンクはJTSに接続され、4.5Kに冷却することができた。この時点でヘリウムタンクを取り巻く熱シールドも定常状態に到達し

表1 冷凍機の電力

Power consumption of coolers (maximum and steady state)

Cooler	Power consumption (W)	
	Maximum (JT operation start)	Steady state
SC-A	53	53
SC-B	53	53
PC-A	53	53
PC-B	53	53
JTCL	25	21
JTCH	28	23
Total	265	256

ており、温度はOVCSが144K、MVCSが104K、IVCSが26Kであった。設計では40日以内に4Kに到達することが予測されていたので、設計と整合する結果である。表1に、冷凍機の電力を示す。電力の合計は、JT運転を開始したときが最大値の265W、定常状態では256Wであった。この結果をもって寒剤フリー運転が可能であるという熱設計が検証された。寒剤フリー運転でADRを動作させ、検出器を50mKに冷却できることも確認しているが、その詳細は参考文献に記述があるので割愛する⁽⁵⁾。

5 むすび

- (1) 寒剤フリー運転が可能なハイブリッド冷却システムを設計・製作し、試験で性能を確認した。
- (2) 液体ヘリウムと機械式冷凍機を併用するシステムであるが、液体ヘリウム消費後を想定した寒剤フリー運転で冷却試験を実施して37日間で35kgの質量を300Kから4Kまで冷却できることを実証した。
- (3) ADRを動作させて検出器を50mKに冷却できることを実証した。

35kgの質量を、液体ヘリウムを使わず、最大265Wの電力で300Kから4Kまで冷却できたことは、将来計画で寒剤を搭載しない冷却システムが採用され、何年にも及ぶ長期観測が実現する可能性を広げるという意味で大きな成果である。

引き続き冷却技術を進化させ、低温機器を通じて宇宙科学の発展に貢献する所存である。

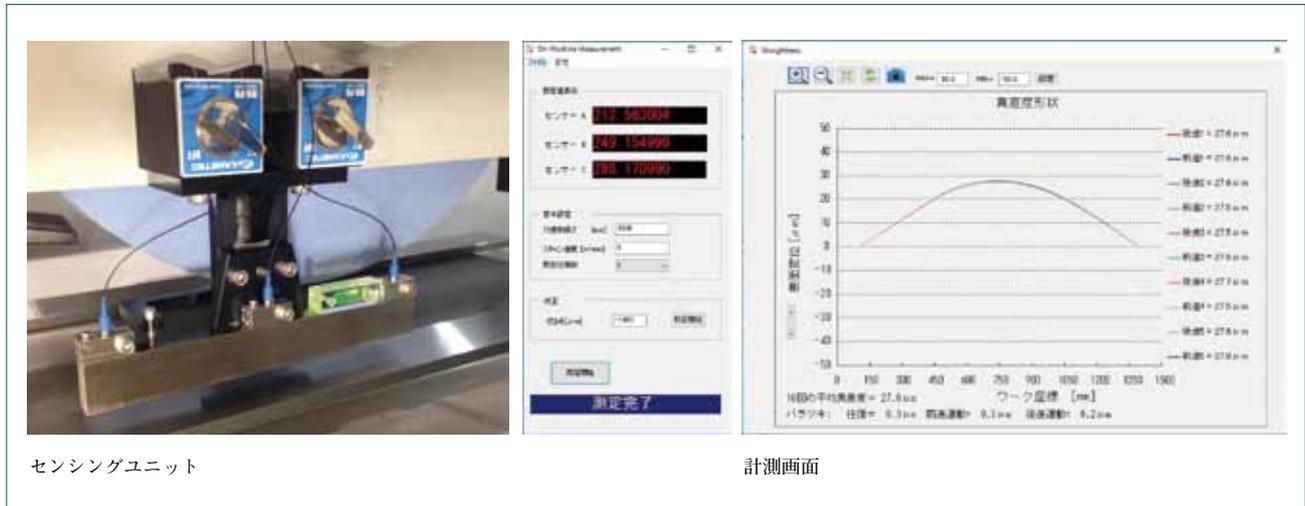
(参考文献)

- (1) Takahashi T.et al., The ASTRO-H (Hitomi) X-ray Astronomy Satellite, Proc, SPIE 9905 99050U-1-17.
- (2) Yoshida S.et al., Flight model performance test results of a helium dewar for the soft X-ray spectrometer onboard ASTRO-H.
- (3) Otsuka K.et al., Test results after refurbish of cryogenic system for smiles.
- (4) Narasaki K.et al., Life time test and Heritage On-orbit of SHI Coolers for Space Use, Cryocoolers 19, 613-622.
- (5) Shirron P.et al., Operating modes and cooling capabilities of the 3-stage ADR developed for the Soft-X-ray Spectrometer instrument on Astro-H, Cryogenics 2016;(74):2-9.

連続3点式真直度測定システムの開発

Development of Continuous 3-point Straightness Measurement System

●市原 浩一* 高 娜*
Kouichi ICHIHARA Na GAO



連続3点式真直度測定システム
Continuous 3-point straightness measurement system

工作機械の案内面に代表されるように、精密部品において真直度形状を求められる部品は少なくない。しかし、メートルサイズの長尺物の真直度形状を $1\mu\text{m}$ 以下の絶対精度と繰り返し精度で測定することは難しい。これまで製造現場の真直度計測は、熟練工によるオートコリメータや電気レベル計などによる測定面をトレースする方法で行われてきた。当社は研削された平面の真直度を非接触で計測でき、従来の逐次3点法よりも高精度で繰り返し精度の高い連続3点式の真直度自動測定システムを開発した。本報ではその特長と測定性能について紹介する。

As represented by the guide surface of a machine tool, there are not a few parts for which the straightness shape is required in precision parts. However, it is difficult to measure the straightness shape of a meter-sized long object with an absolute and repeatability accuracy of $1\mu\text{m}$ or less. Until now, straightness measurement at the manufacturing site has conventionally been carried out by tracing the measurement surface with an autocollimator or an electric level meter by a skilled worker. We have developed a continuous 3-point straightness automatic measurement system that can measure the straightness of a ground plane with non-contact and that is more accurate and repeatable than the sequential 3-point method. This report introduces its features and measurement performances.

1 まえがき

真直度測定装置は、直線形体の測定対象の理想直線からの誤差を測定する装置である。対象が平面の場合は、平面の法線方向の反り量やうねり量の測定になる。現場に要求される真直度精度は、1m当たり $1\mu\text{m}$ の反りが測定できるレベルと考える。そして現在1m当たりサブミクロンの反りの測定が可能な装置が実用化されている⁽¹⁾。

真直度が要求される部品の代表例としては工作機械のクロスレール、ベッドおよびテーブルのガイド面やTダイのスリット部のほか金型部品や定盤などがある。これら部品の真直度形状は、工作機械の運動性能やラミネートの膜厚ムラの性能に直結し、正確な形状測定が求められる。

大型ワークの真直度測定については、研削盤などの加工機上で水準器やオートコリメータを用いた人手による机上計測が行われているのが現状で、真直度測定の自動化ははまだ普及していない。一方で生産現場では、労働人口の減少に伴う労働力不足が深刻化し、また団塊世代の熟練工の技術伝承も課題となっている。本報では、熟練工のスキルを必要とせず誰でも簡単に扱え、高精度で繰り返し再現性の高い自動真直度計測装置について紹介する。

2 主な真直度測定方法

図1に、平面を対象とした主な真直度測定方法の原理と特徴を示す。最もシンプルな真直度測定方法は、測定基準上に設置された1個の変位センサを長手方向に走らせて測定面と

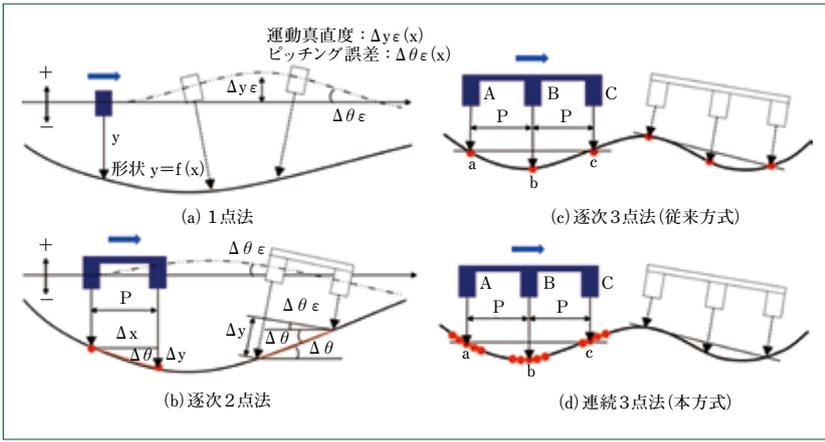


図1 主な真直度計測方法と連続3点法
Main straightness measurement methods and continuous 3-point method

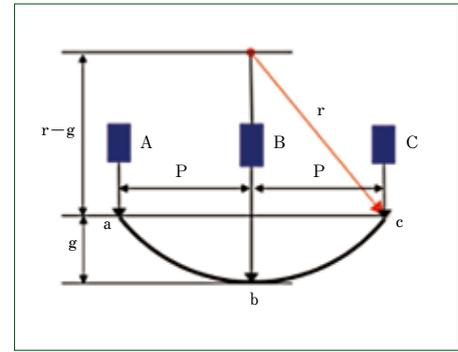


図2 曲率ギャップと曲率の関係
Relationship between gap and curvature

の変位を測定する1点法である(図1(a))。しかし、測定基準の真直度誤差 Δy_ϵ や、曲がりやを原因とするセンサを載せたスライダのピッチング誤差 $\Delta \theta_\epsilon$ により正確な真直度形状が得られない。これは3次元測定機で生じる測定誤差と同様である。

2点法は、変位センサ2個を使用して2点間の高低差とセンサ間ピッチから傾きを求め、その1階積分から真直度形状を求める方法である。スライダの運動真直度の並進誤差は傾きには影響しないが、スライダのピッチング誤差 $\Delta \theta_\epsilon$ が傾き誤差となる(図1(b))。傾き測定は水準器やオートコロメータ、レーザ干渉計を使っても可能で現場ではよく利用されている。測定面上をプローブを接触させてトレースするので測定面の粗さの影響を受けるが、当然スライダのスキャン動作がなく、その運動真直度の影響を受けない。測定基準は、水準器の場合は地球のジオイド面であり、光を利用する場合は光軸である。光は空気の揺らぎによる屈折率の変動により光軸が曲がり、傾き誤差を発生させることから測長距離が長い場合は注意を要する。

3点法は、変位センサ3個を使用して測定面の3箇所の高さを同時に測定するので、その範囲の平均曲率の測定が可能である。これを図2を用いて説明する。3個の変位センサA, B, Cの測定点をa, b, cとすれば、直線acと点bの距離が面の曲がりやの程度を現わす指標である。これを曲率ギャップgと呼ぶことにする。gは直線acの中点とb点の距離であるから(1)式となる。三平方の定理から(2)式となり、rについて解くと(3)式として求まる。ここでPはセンサ間ピッチである。曲率 ρ は曲率半径の逆数より(4)式となり、傾きの変化率である2階微分値に等しい。これから曲率 ρ の2階積分から表面形状が計算できる。

$$g = \frac{a+c}{2} - b \dots\dots\dots (1)$$

$$(r-g)^2 + P^2 = r^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$\therefore r = \frac{g^2 + P^2}{2g} \dots\dots\dots (3)$$

$$\rho = \frac{1}{r} = \frac{2g}{g^2 + P^2} = \frac{d^2 y}{dx^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$y(x) = \iint \frac{2g}{P^2} dx^2 \dots\dots\dots (5)$$

3 連続3点法

3.1 連続3点法の原理

従来の3点法は逐次3点法と呼ばれ、センシングユニットをセンサ間ピッチで逐次ステップ移動させて(図1(c))、その位置の曲率ギャップのデータ(ギャップデータ)から曲率を求め、その2階積分より真直度形状を求める。各位置のギャップデータをセンサ間ピッチで積分するのでサンプリング点のギャップデータのバラツキに大きく影響される。鏡面のように表面粗さが十分に小さな滑らかな面、または粗さ波高値が無視できるほど曲率ギャップが大きい場合は問題にならない。

図3は、(5)式から求めた測長距離当たり $1 \mu\text{m}$ の曲面における測長距離と曲率ギャップとの関係を示したグラフである。センサ間ピッチをパラメータに示している。センサ間ピッチ100mmの場合、測長距離1mで $1 \mu\text{m}$ の真直度を測定するには40nmの曲率ギャップになり、そのレベルの測定分解能が必要なのが分かる。このように真直度測定には数十nmレベルのギャップ測定精度が要求される。この値は研削面の粗さの1/100程度の微小な値である。したがって、ギャップデータは曲率成分よりも粗さ成分に支配され、サンプリング点の粗さ形状に大きく依存する。

センサ間ピッチ間隔のギャップデータのみを利用する逐次3点法では、サンプル点数が少ないことから粗さに埋もれた曲率ギャップを分離抽出することができず、真直度形状の測定再現性が得られない。これに対し連続3点法は、測定面のスキャンで得られる連続データに近いギャップデータを利用する(図1(d))ので曲率ギャップの抽出が可能となる⁽²⁾⁽³⁾。たとえば、0.1mm間隔で取得したギャップデータを使い0.1mmのピッチで積分して真直度形状を求めるので、従来の逐次3点法より滑らかで繰返し再現性の高い真直度形状が得られる。スキャンで得られる曲率ギャップ波形は、粗さが乗った高周波な波形である。一方、積分演算は周波数に反比例して信号を減衰させる特性を持つので、2階積分により粗さの高周波

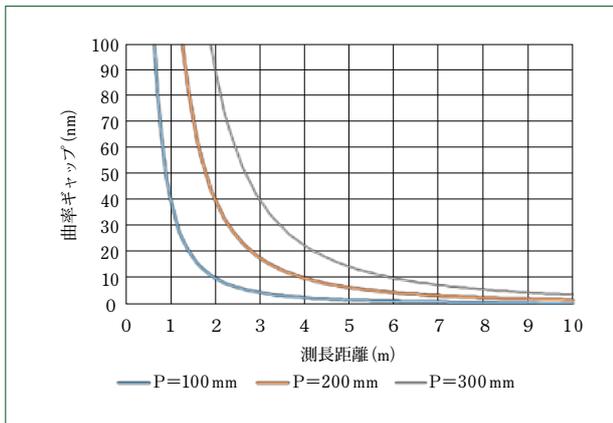


図3 測長距離と曲率ギャップの関係
Relationship between gap and target length

成分が減衰し、真直度形状に關与するDC成分や空間周波数の低いうねり成分が残る。

3.2 変位センサ

変位センサは、スキャン使用を考慮すると接触式では摩擦による精度劣化や測定面のダメージが懸念されることから、非接触式センサが望ましい。測定分解能がnmレベルになると静電容量式やレーザ変位計、分光干渉式、レーザ同軸式などに限定される。静電容量式は、検出距離が短く測定面との接触の心配があり、使いにくいことからレーザセンサの評価を行った。

レーザ変位計は、2000年頃から普及した歴史があるセンサである。レーザ光源を内蔵し、その内部発熱による光学系の熱歪みなどによりサブ μm レベルの温度ドリフトが発生する。また、拡散タイプを使用しても三角測距式原理により測定面の数十 μrad の傾き変動が反射光の角度誤差を生じ、100nm以上の距離誤差が発生し真直度計測には向かなかった。

分光干渉方式と同軸変位計は、最近販売されたセンサで測定面の傾きの影響を受けず、また光源部とセンサ部を光ファイバでつないでいるので内部発熱による温度ドリフトを心配することなくnm計測が行えた。本装置に使用したセンサは分光干渉方式のSI-F10(キーエンス製)である。センサの詳細情報はメーカーのwebを参照されたい。

3.3. ゼロ点校正

3個のセンサ原点を組立てにより一直線上にnmレベルにそろえることは難しい。曲率ギャップ g は直線 ac と点 b の距離から求めるので、センサ abc の原点が一直線上にないと真つぐな面を測定しても曲率ギャップ g が発生し曲面として判断される。3点法では曲率を2階積分して形状を求めることから、このゼロ点のオフセットは放物線誤差として真直度形状に現れる。そこで正確な真直形状を求めるには、このオフセット量を除去する必要がある。

ゼロ点のオフセット量は、真直度がゼロに近い真つぐな鏡面仕上げの校正基準面の測定によりその量を求めることができる。これを計測装置のゼロ点校正と呼ぶ。図4に、その方法と校正基準を示す。真直度測定は、ギャップデータからゼロ点校正値を差し引いて補正する。校正基準面は必ずしも平面である必要はなく、曲面でも曲率ギャップがnmレベルで

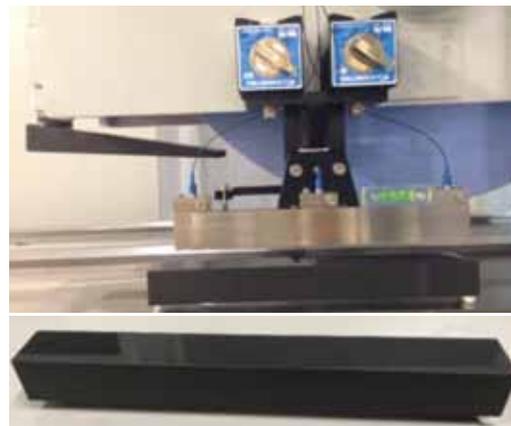


図4 ゼロ点校正方法と校正基準
Method of zero calibration and calibration standard

管理できればその値を使用しても校正は可能である。ゼロ点補正值に校正基準値の曲率を加える必要がある。

真直度形状の絶対精度は、曲率ゼロの校正精度で決まり、校正基準面の真直度精度が要求される。前述のとおり、曲率ギャップ40nmは1m当たり1 μm の真直度形状誤差に相当する。したがって、校正基準の基準面の形状再現性はnmレベルが求められる。この再現性の主な阻害要因は、温度変動による熱変位と設置面との接触に伴うマイクロ変形である。本装置の校正基準には低熱変位特性のファインセラミックス材を使用して温度安定性を確保し、3点支持法により基準面の形状再現性を向上させている。

3.4. センサホルダの影響

センサを保持するセンサホルダも測定精度に影響する。曲率ギャップは、(1)式に示したとおり計算から求めた直線 ac の中点と実測値の b 点の距離から求めている。 b 点が加工誤差だけ中点の真下からスキャン方向に Δx だけずれていると、これにより測定面が $\Delta\theta$ 傾く場合の高さ変化は $\Delta h = \Delta x \Delta\theta$ だけ生じる。たとえば $\Delta x = 20\mu\text{m}$ 、 $\Delta\theta = 1\text{mrad}$ の場合 $\Delta h = 20\text{nm}$ となり、真直度測定では無視できないギャップ誤差になる。これはセンサ間ピッチ誤差だけでなく、センサ軸の傾きによっても発生する。加工精度で抑えるか、 Δh と $\Delta\theta$ の関係から Δx を求め、補正する必要がある。

4 机上真直度測定の実績評価

測定性能は、図5に示す鋳物のテストブロックを当社の新型研削盤KSL-F820でクラウニング研削加工したものを利用した。測定面は、幅50mm×長さ1500mmのLCR列の3種類の真直度形状の平面である。研削面の粗さは $Ra0.5 \sim 1\mu\text{m}$ である。真直度測定も同機のテーブル送りを利用してスキャンした。測定はLCR列ともにゼロ点校正実施後に測定を行った。

セッティングを除いた所要時間は、ゼロ点校正に1~2分、測定時間はスキャン時間と同等となり、ワンパス20秒弱である。スキャンごとに真直度形状が画面に表示され、設定のスキャン回数が完了すると表示グラフの画像や真直度形状などのcsvデータが保存できる。

図6に、測定結果を示す。測定面の真の形状が未知である

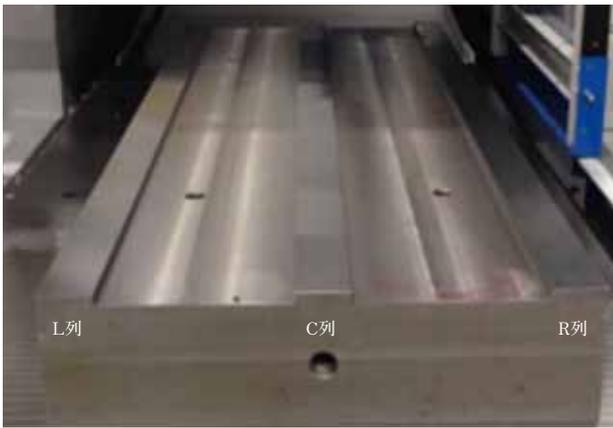


図5 測定対象(3列 B50×L1500)
Measurement targets

ことから従来の電気レベル計による逐次2点方式との比較を行った。図6(a)が電気レベル計による測定結果である。測定ピッチは100mmである。L列が34 μm の凸, C列がほぼフラットの2 μm の凸, R列が35 μm の凹である。図6(b)が本計測システムの結果である。スキャン速度は約100mm/sである。L列が23 μm の凸, C列がほぼフラットの1 μm の凸, R列が26 μm の凹である。

本計測システムの方がL列R列ともに真直度の絶対値が10 μm 程度低く出ている。これは、両端100mmの範囲のギャップデータが得られず、全長1500mmに対し1300mmの積分長となったことによる。積分長の比率からは真の形状の75% = $(1.3/1.5)^2$ の真直度になる。電気レベル計測定結果を真の形状と仮定して比率を求めるとL列が68%, R列は74%である。R列は一致したが、L列の測定結果は若干低い結果となった。

図6(c)は、5往復10回分の測定結果を重ね書きしたものである。真直形状のパラッキ幅はLCR列の順に0.75 μm , 0.52 μm , 0.81 μm であり、いずれも1 μm の幅に入りスキャン方向に依存せずに高い繰返し再現性が確認された。

ゼロ点校正は、一度実施すれば30分以内の測定であるならドリフトの影響は許容できるレベルであった。それ以上の時間が経過する場合、たとえば午前と午後や日をまたぐ場合は、ゼロ点校正を再実施してドリフトをリセットする必要がある。

5 むすび

本報では、研削加工された平面を研削盤の機上にて高精度(1m当たり1 μm)で測定することが可能な連続3点式真直度測定システムの特長について測定結果を示しながら紹介した。

- (1) 主な真直度測定方法と対比して本計測システムの連続3点法の原理と特長を述べ、鏡面以外の研削面に対しても繰返し再現性が高い真直度測定ができることを示した。
- (2) 曲率ギャップ測定には、nmレベルの測定分解能と測定面の傾斜の影響を受けない低ドリフト特性の変位計が必要である。分光干渉計はこれを満たす性能を有していた。
- (3) 真直度の絶対精度の確保を目的としたゼロ点校正方法の原理を示し、校正基準に低熱変位性の材料の使用およ

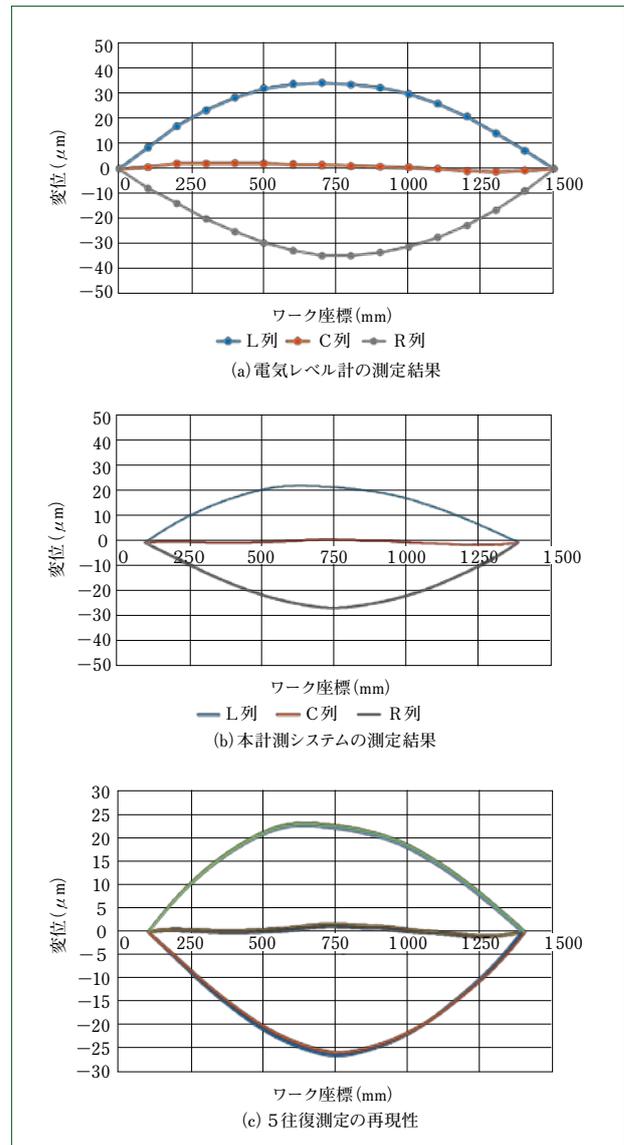


図6 測定結果
Results of measurement

び3点支持により校正基準面形状の再現性が向上することを示した。

- (4) 本計測システムの測定性能評価を行い、測定結果がスキャン方向に依存しないことを検証し、5往復の繰返し再現性のバラッキ幅が1 μm 以下に収まる高精度な真直度計測システムであることを確認した。

(参考文献)

- (1) NAGASEi, Webページ 真直度測定ユニットSMU・01・02.
- (2) 市原浩一, 特許第6444783号.
- (3) 市原浩一, 精密研削盤におけるオンマシン計測の実際, 機械と工具 2015, 12月.

クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F8シリーズ

Double Column Type Surface Grinding Machine KSL-F8 Series

●横田 和幸*
Kazuyuki YOKOTA



クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F8
Double column type surface grinding machine KSL-F8

1 はじめに

住友重機械ファインテック株式会社は、門形平面研削盤を製造して60年になる。住友重機械ファインテックの門形平面研削盤は横軸といし頭と旋回といし頭の2頭を装備し、工作機械や産業機械の摺動面、精密機械部品などの平面を高効率・高精度に仕上げるマザーマシンの老舗として工作機械業界で認知されている。

一方、金型や鋼材、セラミックスやガラスなどの脆性材料の研削として、横軸といし頭のみを搭載した平面研削盤も市場投入している。さらに金型市場への拡販を狙い、新しい発想の研削盤を市場投入すべく平面研削盤KSL-F8シリーズを開発したのでここに紹介する。

昨今は社会的責任(CSR)や持続可能な開発目標(SDGs)を求められており、モノづくりの根幹をなす工作機械業界でもこれを積極的に展開している。本機は、この時代の要求を満たす機械仕様となっている。

2 開発機の仕様

表1に、主要仕様を示す。当社の研削盤は、作業面(テーブル)のサイズを型式呼称とする。本機は幅を800mmとし、

長さを1500、2000、3000mmとした3種類の品ぞろえである。

3 CSRおよびSDGsを意識した開発機のポイント

3.1 省エネルギーテーブル駆動装置(HST: Hydro Static Transmission)の採用

HSTは、油圧モータを直接サーボモータで駆動する高効率の油圧ユニットシステムである(図1)。

このシステムにより従来装置と比べ、

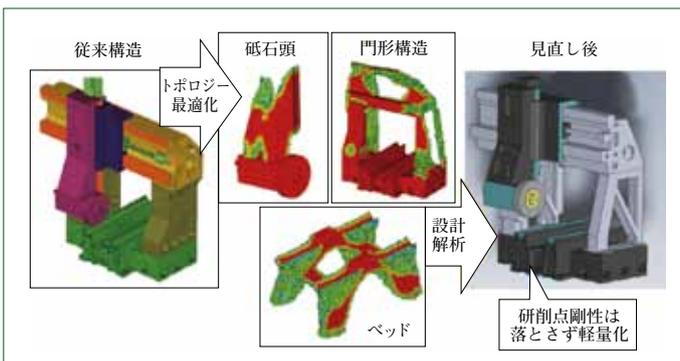
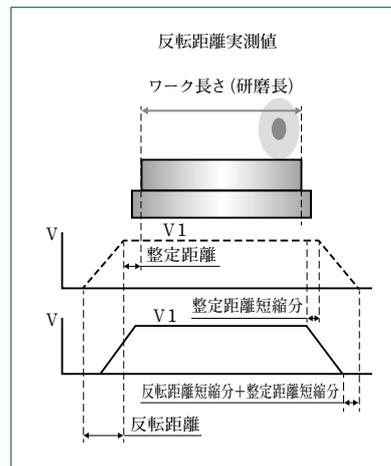
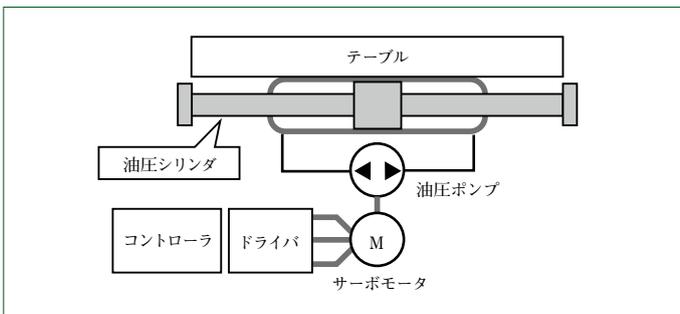
- ・反転距離および整定距離が半減し、総研削時間の削減となり生産性向上につながる(図2)。
- ・サーボモータの採用で速度に応じたエネルギー消費を実現し、また停止時は電動機の停止などで消費電力も半減する。
- ・最小限の油量(閉ループ管路内)で駆動するので必要油量を従来の1/7にできる。油量が少ないことで駆動油冷却装置を小容量化することが可能となり、消費電力の削減に寄与するほか、消防法の規制もクリアできる。

3.2 トポロジー最適化による軽量化の実現

従来、研削盤の剛性は機械本体の総質量が大きければ剛性も高いと評価されるのが慣例であった。本機を環境配慮型製

表1 主要仕様
Main specifications

仕様項目		単位	KSL-F8			
			815	820	830	
容 量	ワーク最大通過幅	mm	1100			
	ワーク最大加工高さ	mm	550			
	テーブル作業面の大きさ(幅×長さ)	mm	800×1500	800×2000	800×3000	
	テーブル上の許容最大搭載質量 ※チャック質量()含む	kg	2500(750)	3500(1000)	5000(1500)	
テーブル送り	最大移動距離	mm	2200	2700	3700	
	送り速度	m/min	2~35			
といし左右送り	最大移動距離	mm	950			
	最小設定単位	mm	0.0001			
	送り速度	mm/min	1~6000			
	手動送り量	ハンドル1回転	mm	0.01/0.1/1/10		
		ハンドル1目盛り	mm	0.0001/0.001/0.01/0.1		
といし上下送り	最大移動距離	mm	640			
	最小設定単位	mm	0.0001			
	送り速度	mm/min	1~2000			
	切込み量	mm	0.0001~0.9990			
	手動送り量	ハンドル1回転	mm	0.01/0.1/1/10		
ハンドル1目盛り		mm	0.0001/0.001/0.01/0.1			
といし	外径×幅×内径	mm	【φ510~610】×【50~100】×φ203.2 といし幅 50→1号平型 75→5号片へこみ型 100→7号両へこみ型			
	回転速度	r/min	500~1500			
	モータ	kW	15			
	油圧タンク	タンク容量	L	100 (申請容量:130L)		
専有面積	長さ×幅×高さ	mm	6100×3850×3100	7100×3850×3100	9300×3850×3100	
質 量	標準仕様にて(特別付属品は除く)	kg	13500	14000	16500	



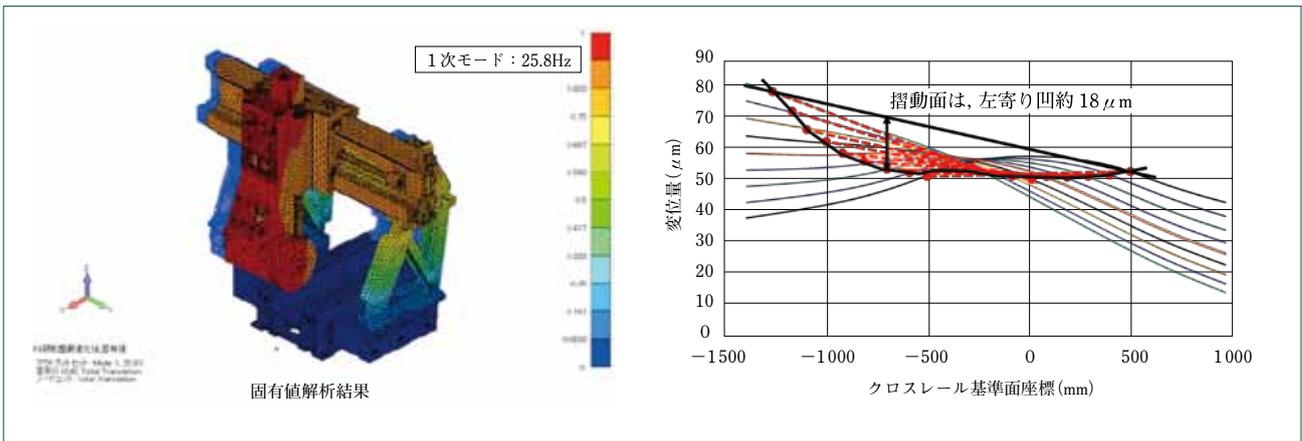


図4 固有値解析とクロスレール摺動面の形状
Eigenvalue analysis and sliding surface shape

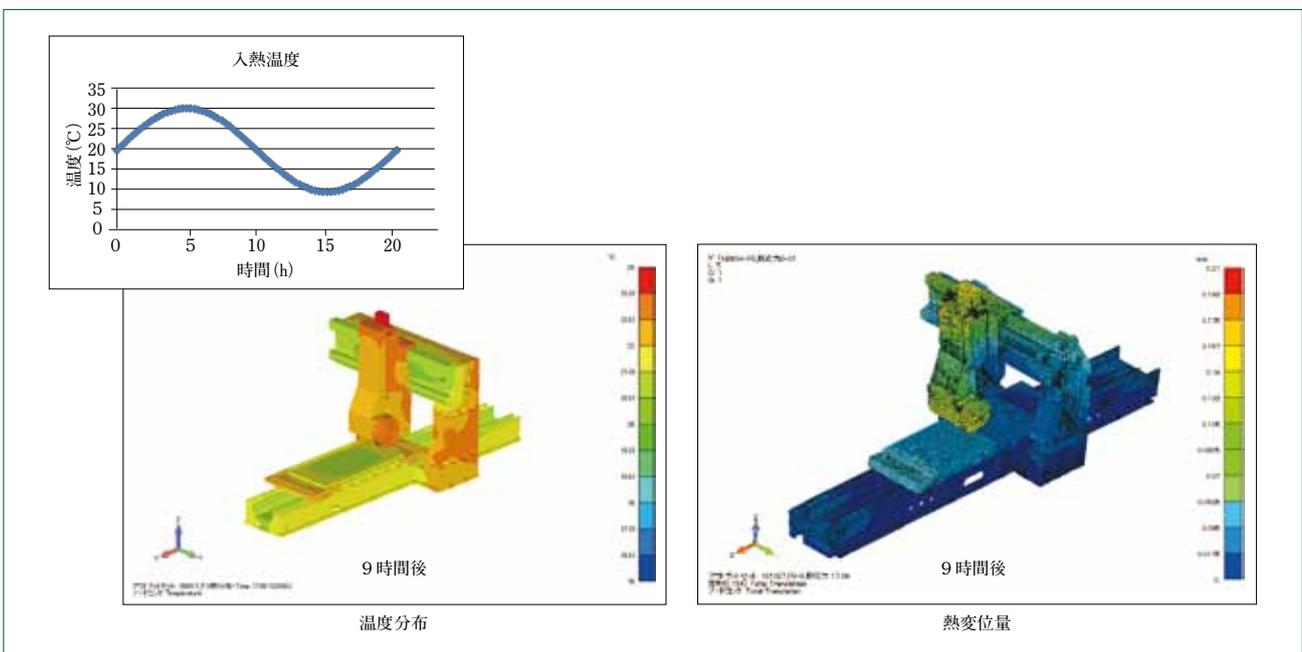


図5 熱解析
Thermal analysis

品とすべく、機械総質量を軽減しながら高剛性を実現することを目的としてトポロジー最適化を実施し、業界の常識に挑んだ。

トポロジー最適化の結果から主要部品の形状考案を経てFEM解析により剛性を算出した。さらに、研削点剛性を保持したまま最低質量となるように解析を繰り返して機械構造を決定した(図3)。

軽量化の影響として考えられるのは、

- ① といし頭左右運動の真直度の悪化
- ② 研削点の減衰性の悪化
- ③ 研削点の熱変位の悪化

などである。これらの影響を最小にすべく①の左右運動の真直度は、クロスレール摺動面の変形を予測し、その逆形状に摺動面を自由曲線研削した(図4)。②の研削点の減衰性については、固有値解析手法により研削面品質に影響がなくなる

よう門形の固有値を高めるとともに、主軸モータとして超低振動モータを開発した。③の研削点の熱変位については、室温変化による熱変位量をシミュレーションにより極力小さくするとともに、内部発熱が大きい主軸モータを従来の空冷式から油冷式とした(図5)。

3.3 省スペースで低床を実現

機械の軽量化や機器のコンパクト化に加え、配置の徹底的な見直しによりテーブル長2mの機械(KSL-F820)で、奥行き約3.5m×長さ約7mのスペースに納めることができた。従来の研削盤はベッドを高くして機械剛性を高めているが、トポロジー最適化により剛性を保ちつつ低床ベッドとした。これによりテーブル作業面は床面から高さ800mmを実現し、加工物の段取り工程の作業性を向上させている(図6)。

顧客からは「段取りが格段に楽になり、作業者に大変喜ばれている」と好評を得ている。

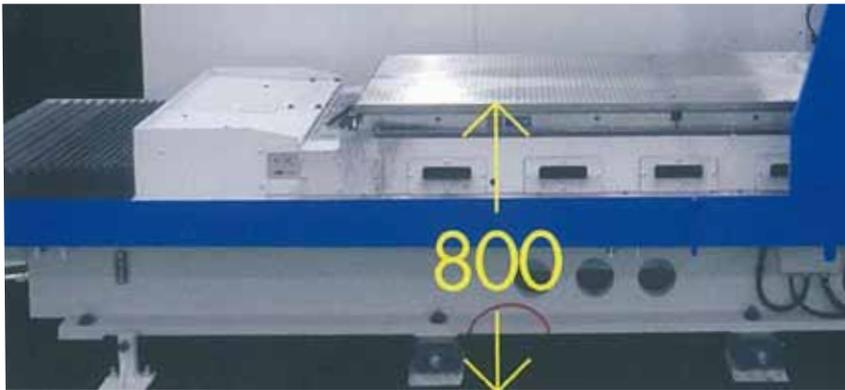


図6 作業面の高さ
Table height

4 作業性・加工能率の改善

研削加工は匠の仕事と言われ、いまだにマニュアル機が多く熟練者が一品一品丹念に仕上げるイメージが強い。本機は15インチ大型タッチパネルを採用し、熟練者でなくても簡単に操作でき、さらにHELP機能により操作中でもミスの確認ができる仕様となっている。使いやすさが第一に考えられており、この操作性に対する熟練者の評価も高い。

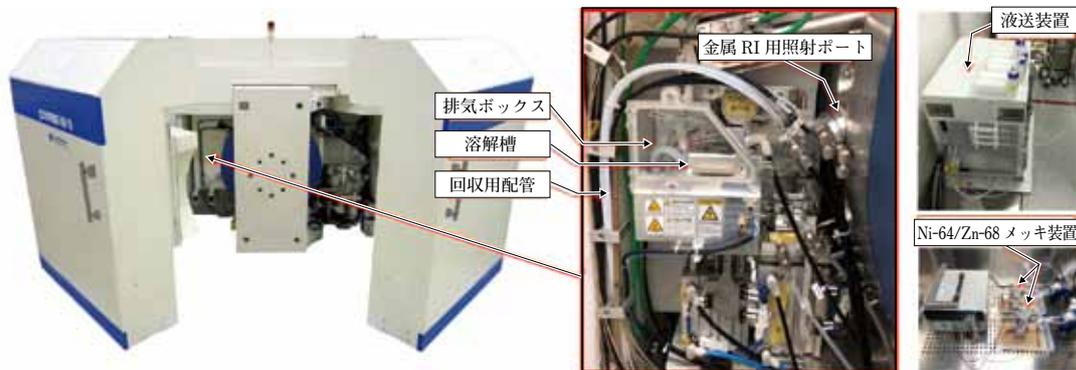
加工能率の改善策の一つに、研削点の剛性を向上させて削り残しを最小にするという方法がある。本機は最適化設計により軽量化しても研削点の剛性は従来機以上となっており、この結果、加工時間の30%短縮を実現している。

5 おわりに

- (1) 金型市場をターゲットに中型門形平面研削盤KSL-F8シリーズを開発し市場投入した。
- (2) トポロジー最適化により軽量化を実現し、省エネルギー性および作業性の向上を図った。これにより消費電力は従来機から半減し、廃油も従来の1/7になるなど環境に優しい機械とした。
- (3) 操作性の向上を重視し、タッチパネルでの操作に対応したことで熟練者からほかの作業員への説明が容易になったとの評価を受けている。
- (4) 当機は、住友重機械ファインテックの標準繰返し機種の子機となるように期待を込めた製品となっている。

CYPRIS HM-10用金属元素放射性核種製造システム

CYPRIS HM-10 Metallic Radioisotopes Production System



小規模の病院に適したCYPRIS HM-10はF, C, N, O核種の製造にのみ用いられている。近年、金属元素放射性核種(金属RI)で標識された抗体やペプチドなどの放射性薬剤が、がんなどの診断やアイソトープ治療薬に応用されることにより、金属RIの需要が高まっている。当社はこれに伴い、CYPRIS HM-10用金属RI製造システムを開発し、上市した。

ビーム照射により生成した金属RIを薬剤化するには、金属RIをターゲット材料とともに酸により溶解し、続いて金属RIとターゲット材料との分離および金属RIの標識工程が必要となる。従来のシステムでは、固体ターゲットをホットセルに搬送し溶解操作を行っていたので、作業者によるターゲットの手動搬送あるいは複雑な搬送機構が必要であった。

本システムでは、照射機能と溶解機能を一体化することで、金属RIを溶液としてホットセルに回収し、搬送機構を簡易にすると同時に短時間かつ低被ばくの作業を可能とした。

本システムは、2018年12月に中国の施設で開発性能試験を実施し、当社独自の技術による安全で高性能な世界初のシステムを確立することに成功した。2019年4月から既存CYPRIS HM-10のアップグレードや新規オプション仕様として販売を開始した。

この金属RI製造システムが、小規模の病院における核医学の発展に大きく貢献することが期待される。

特長

(1) 安全性・作業性

- ・低被ばく ターゲットの照射からホットセルへの回収までの全工程を自動化することにより手作業が削減される。
- ・排気機能 溶解時に拡散する酸性ガスによる周辺機器の腐食を防ぐべく、排気システムを装備している。
- ・無線接続 タブレットを用いることにより、どこでも操作および監視が可能である。

(2) 品質

- ・高収量 斜め照射により収量が増加し、最適化された工程により短時間で金属RIを回収できる。
- ・純度 ターゲット基板および溶解槽を核種ごとに交換することで、核種のクロスコンタミネーションを低減することができる。

※「CYPRIS」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

主要仕様

核種	⁶⁴ Cu	⁸⁹ Zr	⁶⁸ Ga
半減期	12.7h	78.4h	67.7min
核反応 ⁽¹⁾	⁶⁴ Ni(p,n) ⁶⁴ Cu	⁸⁹ Y(p,n) ⁸⁹ Zr	⁶⁸ Zn(p,n) ⁶⁸ Ga
ターゲット材	濃縮 ⁶⁴ Ni	⁸⁹ Yフォイル	濃縮 ⁶⁸ Zn
照射時間	90min	180min	30min
照射電流	20 μA	30 μA	20 μA
収量 ⁽²⁾	60mCi	26mCi	200mCi

(1)エネルギー10MeV (2)放射能の減衰を考慮した収量

(産業機器事業部 ゲラゴメズ フランシスコ)

立軸円テーブル形平面研削盤 SVR80

Vertical Spindle Rotary Surface Grinding Machine SVR80



立軸円テーブル形平面研削盤SVRシリーズは、重研削から超精密研削に至るあらゆる平面研削を自動サイクル運転にて能率良く行うことができる。ラインナップは、テーブル直径φ600～φ2000mmまで6種類で、生産量や被加工物に応じて最適な機種が選択できる。

一方で、SVR60(円テーブル直径φ600mm)とSVR110(円テーブル直径φ1100mm)の中間サイズの機種がない。これに対応すべくテーブル径φ800mmのSVR80を市場投入し本シリーズのラインナップに追加することで販売の拡大を図っている。

主要仕様

電磁チャック	800mm
最大振り	850mm
最大加工高さ	300mm
最大積載質量	300kg
電磁チャックの回転数	10～35r/min
といし外径	450mm
といし回転数(50/60Hz)	720/870r/min
自動切り速度	0.1～0.5mm/min
といし駆動用モータ	22kW
といし送り用モータ	1.6kW
電磁チャックテーブル回転用モータ	3.7kW
テーブル移動用モータ	0.75kW
所要床面積	2950×2400mm
機械質量	5000kg

特長

(1) 優れた操作性

制御装置にCNC装置を採用していることから、自動サイクル研削が効率良く行える。エアカット時間の短縮および研削作業における安全性向上を目的として、スパークオンコントロール装置および過負荷自動逃がし装置を装備している。

飛沫除けドアの開口部はチャック外径に対して1.2倍と広く取り、ワークを楽に取り出すことが可能で、可傾式操作盤を標準仕様とすることにより操作性を向上させた。

(2) 高精度・高剛性

といし軸には超精密ころがり軸受を採用し、また軸受剛性を高めるべく、軸受に与圧を与えている。

コラムは剛性の高い強固な箱型鋳物構造で、3点でベースに固定されている。このことから、常にチャックに対するといし軸の角度は直角を維持することができる。

(住友重機械ファインテック株式会社 太才大陸)

精密平面研削盤 KSH-870

Precision Surface Grinding Machine KSH-870



精密平面研削盤KSH-870は、工作機械および産業機械の摺動面、金型、各種治工具、一般工作機械の部品など、あらゆる高精度・高品位研削加工に最適な研削盤である。最大ワーク長さ7mの研削に対応し、総型ドレスによるといし成形で複雑なワーク形状を効率良く研削することができる。

主要仕様

機械本体

テーブル作業面の大きさ	800×7000mm
加工高さ	650mm(テーブル上面より)
テーブル上の許容搭載質量	6500kg(電磁チャック3500kgを含む)
テーブル送り速度	0～30 m/min

といし頭

といし頭上下移動距離	650mm
といし軸の回転数	500～1200r/min
といし軸駆動モータ	22kW
といし頭の上下送り速度	1～1000mm/min
といし頭の前後送り速度	1～5000mm/min
といし頭の切込み送り量	0.1～30 μm/回

特長

- (1) テーブル作業面長さ
KSHシリーズで最長の7000mmとし、長尺ワークの研削が可能である。

- (2) 研削効率向上

といし軸駆動モータ容量は、これまでで最大の15kWから22kWに増加させることで研削工程の高効率化を実現した。

- (3) 研削面に合わせた種々のといし成形が可能

といし頭前後・上下送りリニアスケールによるフルクローズドループ制御(同時2軸)で位置決め精度を向上させ、確実なといし成形を可能とした。

- (4) 成形困難な形状でもといし成形が可能

首振り式の単石ドレスの旋回角度は、サーボモータにより0.001°単位で角度の設定が可能である。ドレスの角度が可変であることにより、固定ドレスでは干渉によって成形困難な形状も含めさまざまなといし形状に成形することが可能である。

- (5) ワークの寸法を機上で計測可能

計測装置(タッチセンサ方式)をといし頭に搭載することにより、機上でワークの厚みや高さなどを計測することが可能である。

クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F22150 (U)

Double Column Type Surface Grinding Machine KSL-F22150 (U)



クロスレール固定門形平面研削盤KSL-F22150 (U)は、旋回といし頭1頭、クロスレール固定形とし、工作機械および産業機械の摺動面、金型、各種治工具、一般工作機械の部品など、あらゆる幅広ワーク・超長尺の高品位研削加工への対応を目的に開発した研削盤である。

主要仕様

機械本体

テーブル作業面の大きさ	2250×15000mm
加工高さ	150～1350mm(テーブル上面より)
テーブル上の許容搭載質量	30000kg
テーブル送り速度 高速	4～40m/min
低速	0.1～1m/min

旋回といし頭

といし軸の旋回角度	±90°
といし軸の旋回割出し角度	0.001°(任意割出し方式)
といし頭上下移動距離	1200mm
といし軸の回転数	100*～3000r/min(※低速回転はミーリング時に使用)
といし頭の上下送り速度	1～3000mm/min
といし頭の左右送り速度	1～6000mm/min
といし頭の切込み送り量	0.1～300μm/回

特長

(1) 国内最大級の作業面長

国内最大級の作業面長を誇り、最大長さ15mのワーク研削が可能である。テーブルの摺動面はキサゲによる摺合わせを行っており、高精度研削を実現する。また、テーブルはミーリング加工に対応すべくセミ静圧潤滑を搭載しており、低速時にはロッキングのないスムーズなテーブル運転が可能である。

(2) 旋回といし頭の割出し方式

旋回といし頭の割出し方式は、NC制御の任意割出し方式となっており、最小0.001°単位で旋回することが可能である。

(3) クラウニング加工が可能

あらかじめ設定されたプログラムにより、加工物の曲線研削を可能とした。また、本機は長手方向における垂直面内・水平面内だけでなく、といし頭の左右案内面にセミ静圧潤滑を搭載することにより斜面についてもクラウニング研削が可能となった。

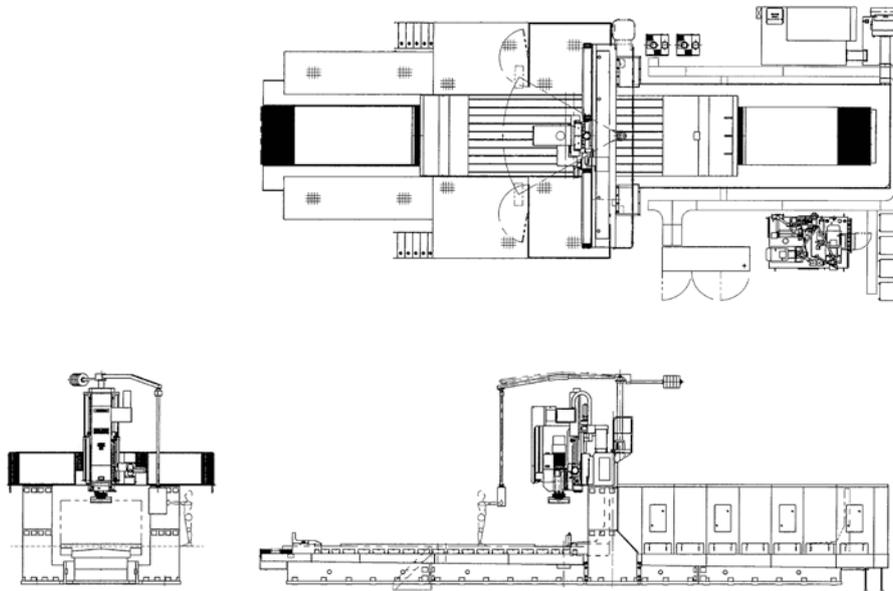
(4) といし自動交換装置(AWC)

本装置は旋回といし頭に使用する各種といしを自動で交換する装置で、AWCを搭載することで研削プログラムによる無人運転を可能とした。

(住友重機械ファインテック株式会社 加藤範記)

クロスレール固定門形平面研削盤 KSL-F2560 (U)

Double Column Type Surface Grinding Machine KSL-F2560 (U)



クロスレール固定門形平面研削盤KSL-F2560(U)は、旋回といし頭1頭、クロスレール固定形とし、工作機械および産業機械の摺動面、金型、各種治工具、一般工作機械の部品など、あらゆる幅広ワーク・長さの高品位研削加工への対応を目的に開発した研削盤である。

主要仕様

機械本体

テーブル作業面の大きさ	2500×6000 mm
加工高さ	150～1350mm(テーブル上面より)
テーブル上の許容搭載質量	15000kg
テーブル送り速度	4～40m/min

旋回といし頭

といし軸の旋回角度	±90°
といし軸の旋回割出し角度	5°きざみ自動割出し
といし頭上下移動距離	1200mm
といし軸の回転数	500～3000r/min
といし頭の上下送り速度	1～3000mm/min
といし頭の左右送り速度	1～6000mm/min
といし頭の切込み送り量	0.1～30μm/回

特長

- (1) テーブル駆動方式のコストダウンを実現
 テーブル作業面幅2500mm以上の機種では、従来ラッ

ク・ピニオン駆動を採用していたが、本機は油圧シリンダ駆動を採用することで、コストダウンを実現した。

- (2) といし交換の簡易化(工数削減)

といし軸は、高剛性スピンドルを採用し、重研削に対応している。また、といし交換はプルスタッド方式(油圧アンクランプ/バネクランプ)を採用しており、操作盤のといし交換ボタンを押すことで、といしの着脱が可能であり、といし交換工数が削減できる。

- (3) クラウニング研削が可能

工作機械用のベッドなどは、わずかに中高形状に研削する必要がある。従来はベッドレベル調整によりクラウニング形状に加工していたが、本機はNCプログラムによりクラウニング研削を可能とした。

(住友重機械ファインテック株式会社 加藤範記)

住友重機械技報第199号発行に当たり

住友重機械技報第199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8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199号の送付先の確認と読后感などの件

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。

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

変減速機、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，ヘリカルボディボックス，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，ベベルボディボックス，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，ボディボックス，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・CYPRIIS，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

CYPRIIS 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(放電プラズマ焼結機)

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：マックスブレンド攪拌槽，スーパーブレンド(同心2軸型攪拌槽)，バイボラック(横型2軸反応装置)
マックスブレンド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(新居浜)
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 <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		篠平 大輔
	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199号 非売品

2019年8月10日印刷 8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



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

