

長寿命化と高強度化を実現したステンレスチェーン

Stainless steel chain with longer wear life and high strength

二階堂 祥雄^{※1}

Sachio NIKAIDO

ステンレスチェーンは標準チェーンに比べて最大許容張力が大幅に低く、高強度化の市場ニーズがある。また、近年では中国製など安価なステンレスチェーンが市場に出回り、機能的に優位性のある商品を開発する必要性が出てきた。今回、課題解決のために高強度で耐摩耗性、耐食性に優れた材質の使用および社内加工によるシームレスブッシュを用い、長寿命化と高強度化を実現したステンレスチェーンを開発した。

Stainless steel chains have significantly lower maximum allowable load than carbon steel chains, and there is a market need for higher strength stainless steel chains. In recent years, cheap stainless steel chains such as those made in China have been on the market, and it has become necessary to develop functionally superior products. In order to solve this situation, we have developed stainless steel chain that have longer wear life and high strength by using material with high-strength, wear-resistant and corrosion-resistant, and using seamless bush by in-house processing.

エコロジー訴求点と 顧客メリット

- ①長寿命化によりメンテナンス費用の削減・環境負荷低減
- ②高強度化により装置のコンパクト化・省資源化

1. はじめに

ステンレスチェーンはその名のとおりに、素材にステンレス鋼を使用したチェーンである。ステンレス鋼は普通鋼に比べると錆びにくいという特徴があり、ステンレス鋼を用いたステンレスチェーンは腐食を嫌うさまざまなアプリケーション（食品関係・医療・洗浄など）で使用されている。近年では、中食産業の発展などもあり、洗浄を伴う食品製造装置などで採用事例が増えてきた。しかしながら、ステンレスチェーンは摩耗性能を基に設定したピンとブッシュ間の面圧から最大許容張力を決めており、その性能は材質固有の機械的性質にほぼ依存することから、これまで大幅なモデルチェンジは行われてこなかった。今回、競合他社だけでなく、中国製など安価なステンレスチェーンにも対抗すべく、機能的に優位性のある商品が必要となり、開発を進めることとなった。

2. 市場の状況

市場調査により現在の顧客要求、当社の製品ラインアップ、競合他社の状況から、こういった製品が望まれているのかを調べた。

2.1 顧客要求

ステンレスチェーンに求められる機能には耐食性（耐薬品性）や耐熱性があるが、市場調査の結果、それらを満たし、かつ顧客が要求しているのは下記であった。

- ① 長寿命化
- ② 最大許容張力の引き上げ

顧客の使用方法はアプリケーションによって多種多様であるが、多くのアプリケーションに共通することとして装置の洗浄などにより潤滑油の使用できない環境が多いことがわかった。これより、長寿命化への取り組みは無潤滑であることが前提となる。

また、ステンレスチェーンの最大許容張力は汎用チェーンに対して約1/10と大きく劣り、汎用チェーンからの置き換えでは相当なサイズアップを余儀なくされる。なるべく小さなサイズで装置設計がしたいので最大許容張力を引き上げてほしいという要望が多く聞かれた。

※1 チェーン製造事業部 技術部

2.2 当社の状況

当社では表1にあるように、

- ・全部品に SUS304 相当材を用いた SS 仕様
- ・ピンとローラに析出硬化系ステンレスを採用し、SS 仕様の 1.5 倍の許容張力を有する AS 仕様
- ・全部品に SUS316 材を用い、優れた耐食性の NS 仕様
- ・特殊プラスチックスリーブをピンとブシュ間に入れることで無給油でも長寿命の LSC 仕様

をラインアップしている。SS 仕様は耐食性に優れ、低温・高温の特殊環境でも使用可能なことから広く採用されており、SS 仕様を優位性判断の基準とした。

2.3 競合他社の状況

チェーンの製造会社は世界中に存在しており、グローバルに展開するために日本国内だけでなく、米州や欧州もベンチマークする必要がある。各地域の主要な競合会社の製品ラインアップ（表2参照）を調べてみると、各社ともに SUS304 相当材を用いたスタンダードなステンレスチェーンだけでなく、高機能商品もラインアップしていた。

表1. 当社ステンレスチェーンの商品ラインアップ

	耐食性	耐熱性	摩耗寿命	許容張力
SS 仕様	○	○	△	△
AS 仕様	△	○	△	○
NS 仕様	◎	○	△	△
LSC 仕様	○	×	◎	△

表2. 当社および競合会社の製品ラインアップ

	当社	国内 A	米州 B	欧州 C
スタンダード	○	○	○	○
強力	○	○	○	○
高耐食	○			
長寿命	○		○	○
強力 & 長寿命		○		

- ・スタンダード：SUS304 相当材で構成されたチェーン（当社 SS 仕様相当）
- ・強力：スタンダードより最大許容張力をアップさせたチェーン（当社 AS 仕様相当）
- ・高耐食：SUS316 相当材等の高耐食性材料で構成されたチェーン（当社 NS 仕様相当）
- ・長寿命：スタンダードより長寿命化したチェーン（当社 LSC 仕様相当）
- ・強力 & 長寿命：スタンダードより長寿命で、最大許容張力を引き上げたチェーン（本開発チェーンコンセプト）

これより、開発チェーンは国内では他社に対抗するため、また米州や欧州においては機能的に優位性のある商品を発売し、拡販を行うために必要なことがわかった。

3. 開発目標

3.1 要求仕様と開発目標

3.1.1 市場からの要求仕様

2章より要求仕様は従来のステンレスチェーンの機能を満足しつつ、許容張力を引き上げるために摩耗性能の大幅な向上が必要である。

3.1.2 開発目標

市場からの要求仕様を踏まえ、開発目標は下記4項目を満足することとした。

- 1) 完全ドライにおいて当社ステンレスチェーン SS 仕様より摩耗性能が優れること。
- 2) 同サイズで最大許容張力を 2.7 倍*に引き上げて使用しても、SS 仕様の摩耗寿命と変わらないこと
- 3) 最大許容張力を 2.7 倍*に引き上げて疲労破壊が起らないこと
- 4) 耐食性は当社の AS 仕様と同等以上であること

3.2 開発目標達成のための方策

長寿命化および最大許容張力を引き上げるために、

- ・ピン、ブシュ、ローラの材質変更（硬さアップ）
 - ・ブシュの加工方法変更
- の2点の方策を行った。その手段としては、特殊なステンレス鋼への材質変更、およびブシュのシームレス化を実施した（図1参照）。その理由としては、
- 1) 材料メーカーにおいて高強度で耐食性・耐摩耗性に優れたステンレス鋼の開発が進んだこと
 - 2) 一般的に長寿命化の鍵となる凝着摩耗抑制には熱伝導率の高い材料が有効であること
 - 3) 社内加工技術が向上したこと
 - 4) 社内試験結果より巻きブシュに比べてシームレスブシュは摩耗性能に優れることがあげられる。

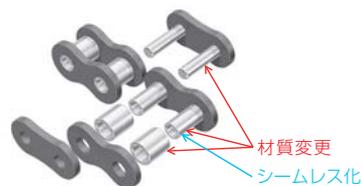


図1. 開発目標達成のための方策概要

* 2サイズダウンを狙い、目標の許容張力は2.7倍に設定。

4. 開発の進め方

本チェーンは米州や欧州でもニーズがあるとのことから、USTP（アメリカ現地法人）と協業しながら開発を行った。それぞれの強みを生かし、開発における情報交換を密に行うことで、よりよい製品を作り出すスタイルを確立することも目的の一つであった。

5. 開発結果

5.1 摩耗試験と評価結果

チェーンの摩耗試験はJIS等の公的規格では方法や条件が規定されていない。そのため、数種のチェーンを当社独自の基準で試験し、結果の比較によって優位性を確認した。なお、試験張力は基準を1とし、1.5および2.7と指数で表現する。また、チェーンはピッチ15.875mmの#50サイズで実施した。

- 1) #50 試験張力1×中速度（完全ドライ）
- 2) #50 試験張力1.5×中速度（完全ドライ）
- 3) #50 許容張力引き上げ可否確認（完全ドライ）

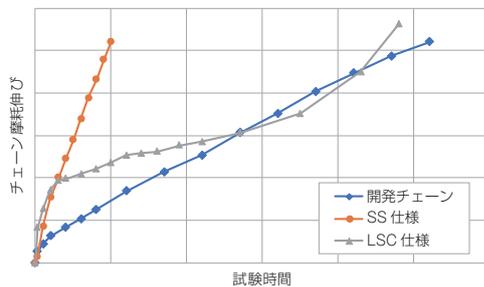


図2. #50 試験張力1×中速度の摩耗試験結果

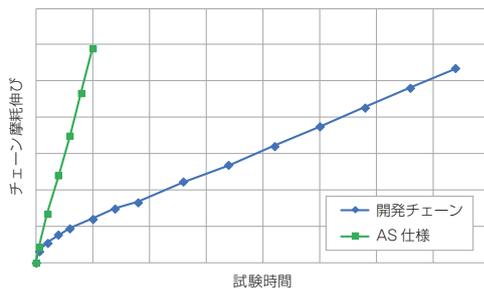


図3. #50 試験張力1.5×中速度の摩耗試験結果

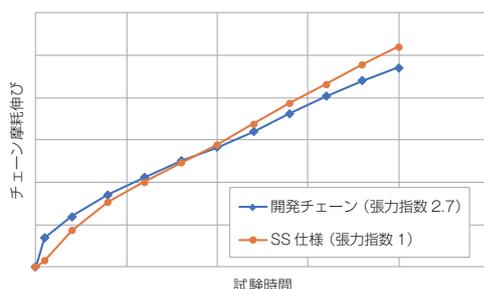


図4. #50 許容張力引き上げ可否確認の摩耗試験結果

5.1.1 #50試験張力1×中速度(完全ドライ)の評価結果

開発チェーンは当社SS仕様チェーンよりも大幅に摩耗性能に優れ、長寿命ステンレスチェーンであるLSC仕様と同程度の摩耗性能である(図2参照)。

5.1.2 #50試験張力1.5×中速度(完全ドライ)の評価結果

開発チェーンは当社AS仕様チェーンより摩耗性能に優れている(図3参照)。

5.1.3 #50許容張力引き上げ可否確認の評価結果

開発チェーンは当社SS仕様チェーンの試験張力1での試験結果に比べて、2.7倍の張力で試験しても摩耗寿命は変わらなかった(図4参照)。

3条件による試験の結果、本開発チェーンは開発目標の3.1.2項の1)、2)を満足した。

5.2 疲労強さ

1章で触れたとおり、ステンレスチェーンの最大許容張力は摩耗性能を基に設定している。しかし、許容張力を引き上げることで疲労破壊の可能性が出てくる。このため、JIS B 1811に準じた疲労試験により設定した最大許容張力で疲労破壊が起こらないかを検証した。

開発チェーンの疲労強さは開発目標である最大許容張力以上であることを確認した(図5参照)。

これより開発目標3.1.2項の3)を満足した。

5.3 耐食性

ピン、ブシュ、ローラの材質変更およびブシュのシームレス化に伴い、耐食性がAS仕様と同等以上であることをJIS Z 2371に準じた塩水噴霧試験機で耐食性を評価した。

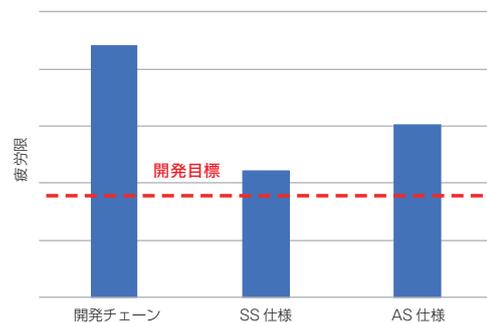


図5. 疲労試験結果

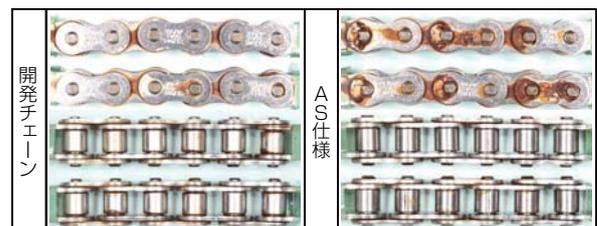


図6. 塩水噴霧試験結果

同じ試験時間で比較すると開発チェーンはAS仕様以上の耐食性であることを確認した(図6参照)。

これより開発目標3.1.2項の4)を満足した。

5.4 その他確認事項

ステンレスチェーンは定期的な洗浄程度の環境だけでなく、常に水のかかるような環境でも使われる可能性があるため、水中を想定した試験(試験張力1×中速度)を実施した。結果、開発チェーンは常に水のかかるような環境では完全ドライと同じように優位性は発揮できないが、SS仕様と同等の摩耗性能は確保できることを確認した(図7参照)。

また、高温での使用を想定した400℃での摩耗試験(試験張力1.5×中速度、完全ドライ)も実施した。結果、開発チェーンは高温でもAS仕様と比べて長寿命となることを確認した(図8参照)。

5.5 まとめ

摩耗伸び性能、耐食性、疲労強さの評価より本開発チェーンは市場からの要求仕様を満足し、かつ開発目標を満足した。今後、チェーンの品種を拡大して評価していくとともに、実際のアプリケーションでも高い評価を得られるよう継続してフィールドテストを実施していく。

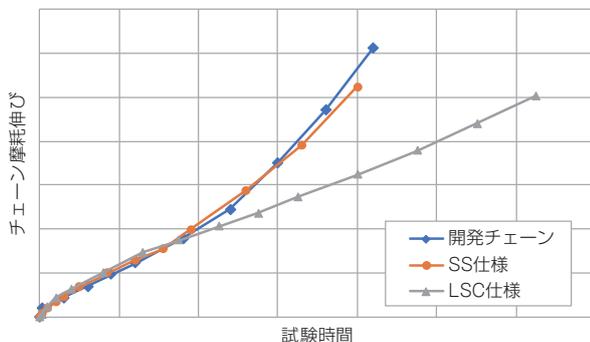


図7. 水中を想定した摩耗試験結果(試験張力1)

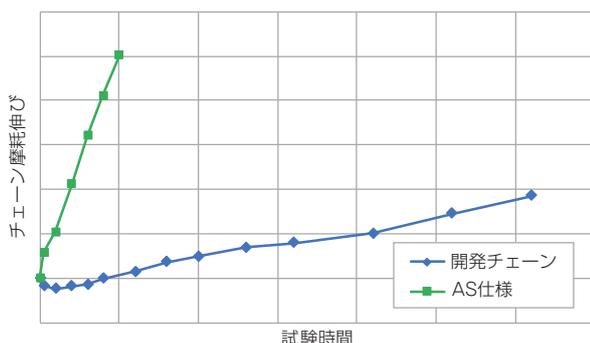


図8. 400℃での摩耗試験結果(試験張力1.5)

6. おわりに

これまで諸先輩が挑戦と挫折を繰り返してきたテーマであったが、材料技術および加工技術の向上により実現することができた。さらに、評価設備の高機能化や充実により、様々な検証試験を実施することで従来ではわからなかった知見を得られたことも大きな収穫である。

ステンレスチェーンは今後も衛生面に配慮した食品製造装置をはじめ、医療関係など様々な分野での使用検討が行われると想定される。特にメンテナンス工数を削減したい設備や装置の小型化を検討する上では、今回開発したチェーンが大いに活躍できると考えている。今後もステンレスチェーンの長寿命化や許容張力の向上に取り組み、更なる性能向上を目指していく。

つばき「ジップチェーンリフタ[®]」機種拡大

Expand the ZIP CHAIN LIFTER[®] lineup

庄司 龍太^{※1}
Ryuta SHOJI

ジップチェーンリフタはその商品価値を評価される一方で価格面がネックとなることも多く、低価格化を実現する標準機の機種拡大は拡販の足掛かりになると考えた。過去の見積依頼データを分析した結果、ストロークや速度に関する要望が多いことがわかったので、ストローク 1600mm 仕様とサーボモータ仕様を開発した。加えてリフタオプションを拡充することでさらに商品力を強化した。本報告ではジップチェーンリフタ標準機の特長を紹介する。

The high price is often the bottleneck while the product value of ZIP CHAIN LIFTER has been highly evaluated. Therefore, we thought that the price reductions through expansion of standard models will provide a foothold for sales growth. After analyzing the needs based on the data from previous requests, we found that there were many requests regarding stroke and speed. So we have developed a stroke of 1600mm type and servo motor type. In addition, we have strengthened our product line by expanding lifter option. In this report, we present the product features of standard models of ZIP CHAIN LIFTER.

エコロジー訴求点と 顧客メリット

- ①高速、高頻度運転の実現
- ②長寿命でメンテナンス性に優れている
- ③ジップチェーン駆動による省エネ効果

1. はじめに

ジップチェーン（図1）とは2本のチェーンがジッパーのように噛み合うことで1本の強固な柱状となるチェーンである。ジップチェーンを昇降の駆動源とし、開発されたジップチェーンリフタ（図2）は2008年から販売をスタートした。

ジップチェーンリフタは従来の油圧式リフタと比べて、耐久性に優れ、高速・高頻度運転に適している。また、昇降テーブルを垂直に押し上げるため駆動効率が高く省エネ機器としてもすぐれた一面を有している。2009年には社団法人日本機械工業連合会主催の「平成21年度（第30回）優秀省エネルギー機器表彰」において、最高位の「経済産業大臣賞」を受賞した。

発売当初からジップチェーンリフタの特長が評価され、自動車業界をはじめ様々な分野で採用されているがそのほとんどがオーダーメイドで製作する特型リフタであった。特型リフタは要求仕様に確実に応えられる反面、製作コスト、製作時間がネックとなり、これが高コスト化の要因となっていた。その課題を解決するために、低コ

スト化が可能な標準型のジップチェーンリフタを機種拡大することで、商品力を強化した。

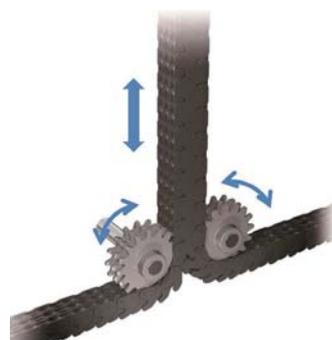


図1. ジップチェーン



図2. ジップチェーンリフタ外観

※1 モーションコントロール事業部 技術部

2. ニーズの分析

2.1 見積依頼データの分析

2019年度の見積依頼データを集計した結果を図3、図4に示す。図3はZSL（標準機）、図4はZCL（特型）の見積依頼集計結果である。データはリフトの積載質量、ストローク別に見積依頼件数を集計している。横軸が積載質量 [kg]、縦軸が見積依頼件数とし、棒グラフの色分けはストローク [mm] の違いを表している。

図3から、積載質量やストロークは標準機ベースの見積依頼のため標準機スペックに集中しているが、ZSL1000のほうが件数は多くニーズが高いと読み取れる。見積内容を分析し標準機のオプションとして対応する(2.3項)。また、図4から、特型では1000kg未満の見積依頼が多いことがわかる(表中の青枠部)。このゾーンのリフト標準機は現在開発を進めている。開発中の中型機(仮称)の次に多かったのは積載質量1000~2000kg、ストローク1000~2000mm(表中の赤枠部)であった。このゾーンを標準機として取り込むため、まずはストローク拡大(ストローク1600mm)を開発ターゲットとした。

2.2 サーボモータ仕様の追加

見積依頼内容を整理するなかで、高速昇降や多点停止の要望が多いこともわかった。この要望に応えるためサーボモータ仕様を開発することとした。サーボモータを動力源とすることで高速昇降することができ、多点の位置決め制御が容易となる。ジップチェーン製品を作るモジュール技術とハイポイドモートルなど減速機技術を結集し、サーボモータ仕様を開発した。

2.3 オプション拡充

図3の標準機の見積依頼内容には、ユーザー都合の個別対応を要求するものが多く、標準機仕様であっても、ユーザーニーズに対応できるオプションがあれば、価格以外でも商品力の強化につながると分析し、リフトオプションを拡充することにした。オプションの内容はジャバラ仕様、上面タップ座の追加、モータ電圧400V級、ロータリーエンコーダ付きとなる。

カタログ標準品とすることで機種選定を容易にし、ジップチェーンを身近な設備に活用いただく機会増を期待するとともに、新たなアプリケーション開拓を担う商品を目指す。

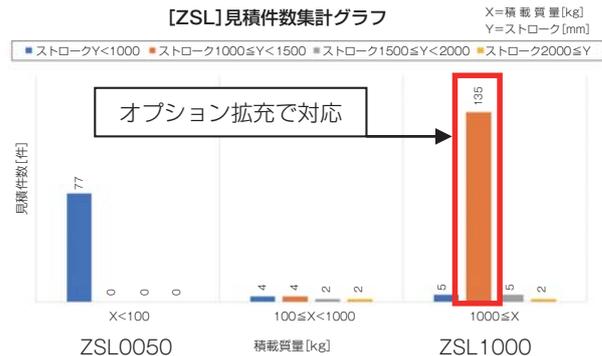


図3. ZSL（標準機）見積件数集計グラフ

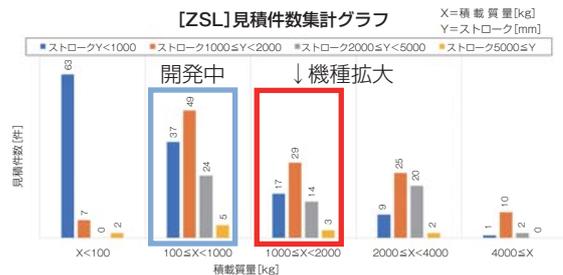


図4. ZCL（特型）見積件数集計グラフ

表1. ストローク1600mm仕様

本体形番	ZSL1000S16G2	ZSL1000L16G2
積載質量 [kg]	1000	1000
速度 [m/min]	5.5	11
ストローク [mm]	1600	1600
収納高さ [mm]	600	600
ジップチェーン	RS80-3	RS80-3
ハイポイドモートル	HMTR220-55H120B	HMTR370-55H60B

3. 標準機の特長

3.1 拡大製品の仕様

ストローク1600mmリフトの仕様を表1に示す。また、リフト外観の比較を図5に示す。ストローク1000mm仕様ではパンタフレームが1段なのに対して、パンタフレームは2段構造となる。リフト外形サイズ(ベースサイズやテーブルサイズ)は従来と同じ寸法のままストロークUP仕様となっている。そのかわり、収納高さが420mmから600mmに変更している。

サーボモータ付きリフトの仕様を表2に示す。駆動がサーボモータになることでより高速で昇降することが可能となり、速度は19m/minとなる。サーボモータ制御によって速度や停止位置は任意に設定することができる。位置検出センサを設けなくても多点停止運転が可能である。

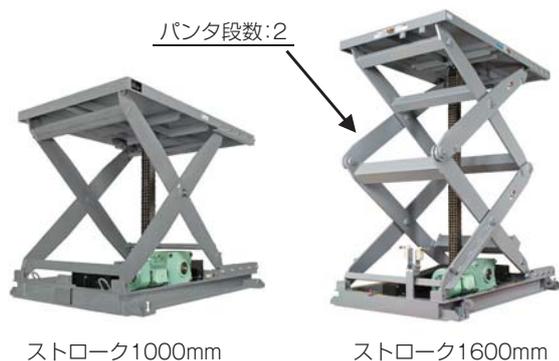


図5. リフタ外観比較

表2. サーボモータ仕様

本体形番	ZSL1000M10K1	ZSL1000M16K2
積載質量 [kg]	1000	1000
速度 [m/min]	19	19
ストローク [mm]	1000	1600
収納高さ [mm]	420	600
ジップチェーン	RS80-3	RS80-3
ハイポイドモートル	HRTA370-55H50FIC2-ZP	
サーボモータ	HG-SR502BK	

3.2 高速、高頻度運転が可能

ジップチェーンは2本の特殊な形状をしたチェーンがジッパーのように噛み合い、1本の強固な柱状となるため昇降体を垂直に押し・引きすることができる。またジップチェーン専用スプロケットにより2本のチェーンがスムーズに噛み合い、低振動な昇降を実現している。スプロケットの回転運動がジップチェーンの直線運動に変換されるため一定速で高速な運転が可能となっている(図6)。また、スプロケット駆動は発熱の懸念や摩耗の影響が少ないため高頻度運転も可能である。

3.3 長寿命、メンテナンス性

一般に油圧式や電動ネジ式のリフタ寿命が10万回往復となっているが、ジップチェーンリフタは100万回往復以上の耐久性を有している。高耐久性が実現した一番の理由はジップチェーンという革新的技術にある。油圧、電動ネジ式リフタでは再下点からの起動時にシリンダ斜めから押すため(図7)、昇降推力はワーク重量の数倍以上の力が必要となりシリンダ連結部に過大な負荷が掛かる。一方でジップチェーンリフタは直接天板を押すことができるため(図8)、無理な負荷を掛けずに昇降することが可能である。

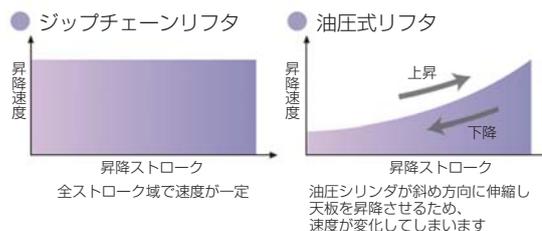
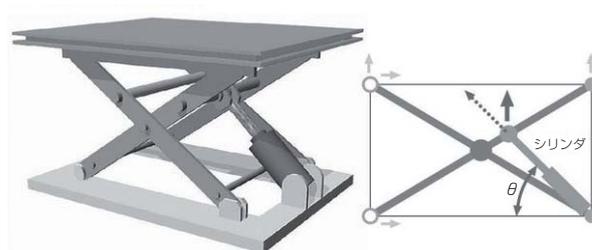


図6. 速度変動比較



昇降推力の $1 / \sin \theta$ 倍の力が必要
(例) $\theta = 10^\circ$ の時に昇降質量の 5.8 倍の推力が必要

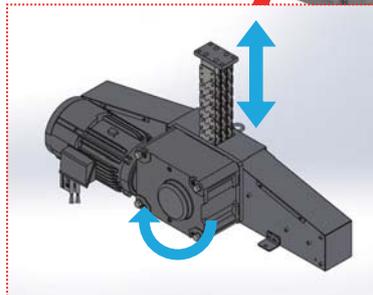
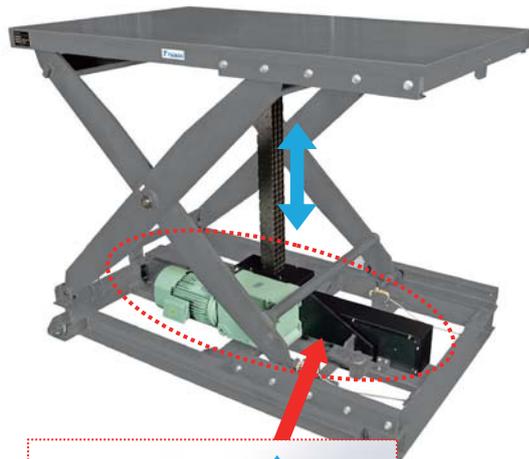
図7. 油圧式テーブルリフタ昇降方式

ジップチェーンリフタのメンテナンスは定期的なグリースアップを推奨している。ジップチェーンを中心に可動箇所指定グリースを塗布(刷毛塗)するだけで良く、メンテナンスは容易である。ハイポイドモートルについてもグリース封入タイプのため基本的にグリース交換は不要である。

3.4 環境性能

ジップチェーンリフタは、油圧方式と比べ最大50%の省エネ効果が期待できる。

油圧式テーブルリフタでは、最下点からの起動時にシリンダ斜めから押すため(図7)、大きなパワーが必要となる。一方でジップチェーンリフタは直接天板を押すことができるため(図8)、油圧リフタのように昇降力の変動がない。モータトルクは減速機、スプロケットを介してジップチェーンの昇降力へ変換されるため、機械効率も良く、無駄なく伝達することができる。



減速機出力軸トルク = リフト昇降トルク

図 8. ジップチェーンリフト昇降方式

3.5 コストダウンと品質

特型対応はユーザーニーズに 100% 対応できるというメリットがあるが、一方で仕様確認後に設計製作がスタートするため製作時間を要し、その分だけコストは高くなってしまいがデメリットである。標準機では、そういった設計時間などをカットできる。また、部品の共通化や一括製作 & 管理することで品質を確保しつつコストダウンをしている。

3.5.1 TC商品の結集

リフト構成部品に自社製品をフル活用することで品質、コスト、納期対応を実現した（ジップチェーン、スプロケット、ハイポイドモートル、軸付ベアリングローラ）。

3.5.2 コア技術の磨きあげ

ジップチェーンユニットを自社工場です組立 & 検査することでこれまで以上に高い水準で品質の確保、管理が可能となった。また、コア技術となるジップチェーンの駆動部分に自社の設計部、製造部、品質保証部が直接関わることで今後さらなる技術の磨きあげが期待できる（図 9）。

3.5.3 柔軟に対応できる生産体制

標準機は半完成状態で保管し、オーダーごとに組み上げている。例えばユーザー指定色などオプションには無い追加要望があっても柔軟に対応できる生産体制になっている。

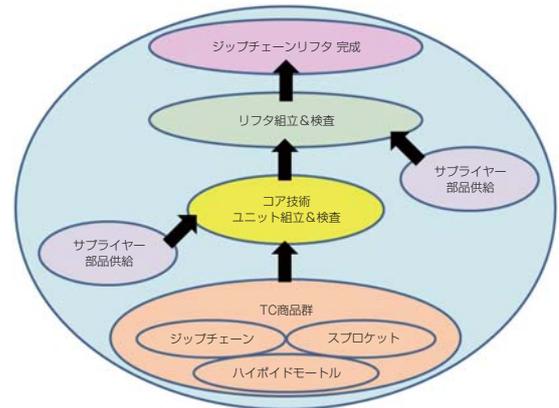


図 9. リフト製作工程

表 4. 他機構との性能比較

	速度	高頻度	停止精度	期待寿命
ジップチェーンリフト®	◎ ~100m/min	◎ 連続可能	◎ サーボモータ併用により	◎ 100万回往復以上
電動ネジ式リフト	× ~15m/min	× 停止時間必要	○ サーボモータ併用により	× 10万往復
油圧式リフト	× ~15m/min	× 油の温度上昇	× 中間停止困難	× 10万往復

4. まとめ

ジップチェーンリフトは従来の油圧式リフトや電動ネジ式リフトと比べて圧倒的に高性能である（表 4）。ジップチェーンの能力を最大限に発揮するために開発されたジップチェーンリフトはチェーン技術をはじめ、減速機、スプロケットなどそれぞれを融合し椿本チエインの技術力を結集したモジュール商品である。ジップチェーンの革新的技術を有したジップチェーンリフトのコストを抑え、短納期に対応できるようになった標準機は高い商品力を持っていると考える。

近年の搬送設備は、AGV やロボットの活用や、AI といった最新技術によってさらなる自動化や省力化が進み、高速化、効率化へのニーズが高まっている。ジップチェーンリフトのストロークや積載荷重の対応範囲を増やし、サーボモータを積極的に活用することで多彩なニーズに対応していく。今後も様々なアプリケーションに対応できる技術力と商品力の向上に努める所存である。

低騒音スプロケットの開発

Development of Low noise sprockets

高木 雄大^{※1}
Yudai TAKAGI

日高 達也^{※2}
Tatsuya HIDAKA

清水 章一郎^{※2}
Shoichiro SHIMIZU

近年、自動車に対する騒音規制が厳しくなっている。エンジン音はもちろん走行音に至るまで、クルマ全体の騒音低減技術の開発が求められている。タイミングチェーンドライブシステムにおいても、騒音低減は最重要テーマとして取り組んでいる。

本開発では、低騒音化アイテムとしてスプロケットの歯形に着目し、新しいコンセプトの低騒音スプロケットを開発したので報告する。

Recently, noise regulations for automobiles have become strict. It is required to develop noise reduction technology for the entire car, not only for engine noise but also for the harshness. The noise reduction development is very important theme for the timing chain drive system.

We report a new concept of low noise sprocket, focusing on the tooth profile of the sprocket as a noise reduction item in this development.

<p>エコロジー訴求点と 顧客メリット</p>	<p>①低騒音化による騒音規制への対応 ②開発期間の短縮、試作 / 評価工数の削減</p>
------------------------------------	---

1. はじめに

エンジンのタイミングチェーンシステムに起因する騒音の一つとして、チェーンとスプロケットの噛み合い音がある。これまでチェーンの形状や材質の最適化などをおこなって騒音の大幅な低減を図ってきた。今後、自動車の加速走行騒音規制が強化される中で更なる低騒音化が必要であり、タイミングチェーンシステムの静粛性に応えるアイテムとしてスプロケット歯形により噛み合い音を低減させる技術を紹介する。

2. タイミングシステムにおける騒音

2.1 チェーンとスプロケットの噛み合い次数音について

騒音・振動はNV (Noise・Vibration) と呼ばれ、起振源から発生する音圧や振動を測定して評価される。

噛み合い音は、チェーンとスプロケットの噛み合い衝突によって生じる高周波領域の音であり、この音の根源は主にチェーンとスプロケットの衝突による運動エネルギーである。これは周期的な噛み合いにより、特定の周

波数成分が増大して耳障りな甲高い音として聞こえる現象で、“噛み合い次数音”と呼ぶ (図1参照)¹⁾。

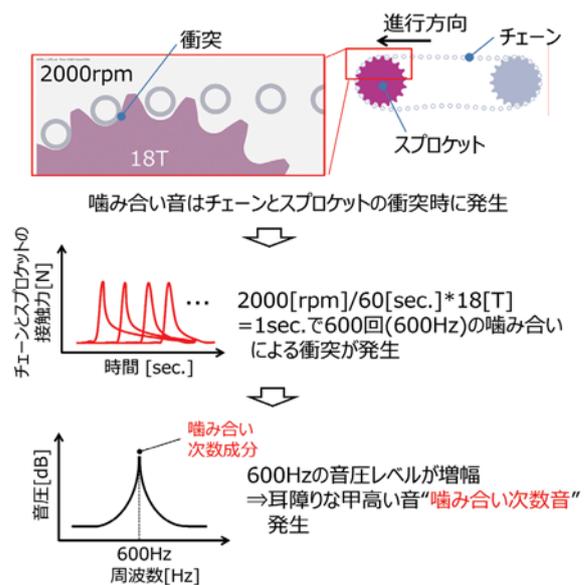


図1. 噛み合い次数音について

※1 自動車部品事業部 CS 技術部

※2 自動車部品事業部 商品開発部

2.2 噛み合い次数音を低減させる方策

噛み合い次数音の発生原因は、一定間隔で噛み合うことによって増幅した衝突による運動エネルギーである。このエネルギーを低減させる方策として①吸収、②分散、③防音の方策が挙げられる（図2参照²⁾）。

① 運動エネルギーを吸収させる方策

運動エネルギーを吸収する例の一つとしてクッションゴム付スプロケットがある（図3参照）。チェーンのリンクプレート端面をスプロケット歯の両脇に設置したゴムに接触させることで、運動エネルギーを吸収し騒音を低減させる手法である。

② 運動エネルギーを分散させる方策

周期的に発生する運動エネルギーを分散させるためチェーンとスプロケットの噛み合いの周期性を崩す手法がある。本報告は、この分散を狙ったスプロケット歯形について紹介する。

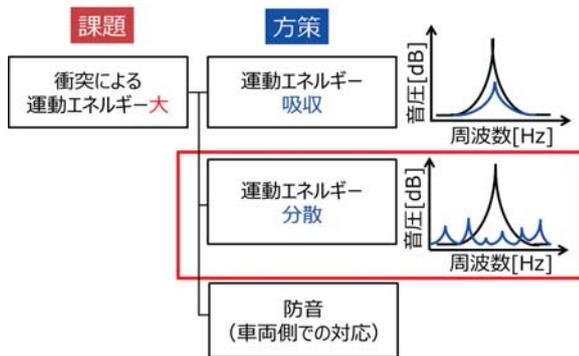


図2. 噛み合い次数音を低減させる方策



図3. クッションゴム付スプロケット

3. 低騒音歯形の開発

3.1 従来の低騒音歯形

チェーンとスプロケットの接触タイミングをずらすためにスプロケット歯の角度（歯のピッチ）を意図的に変動させる方法が考えられる。

過去に歯角度を3水準（小・中・大）設け、全周にわたって均等に割り当てたスプロケット歯形を開発したが、歯角度を大きく振らないと分散効果が得られず、歯角度を振りすぎると接触時にチェーンの発生応力が増加する（図4参照）。

3.2 新しい低騒音歯形

この課題を解決するために、歯の角度を変動周期で割り当て、チェーンとスプロケットの接触タイミングをずらした。変動周期波形は、正弦波をベースとして全歯の角度を変動させているため、従来の低騒音歯形と比較して小さい変動振幅で同レベルの運動エネルギーの分散効果が期待できる。更に歯形の最適化によってチェーン強度の低下を極限まで少なくすることが可能となった（図4参照）。

この新しい歯形のスプロケットを位相周期変動（tooth Angle Phase Fluctuated）歯形とし、頭文字をとってAPF歯形と称する。

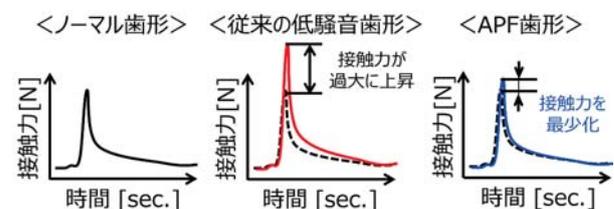
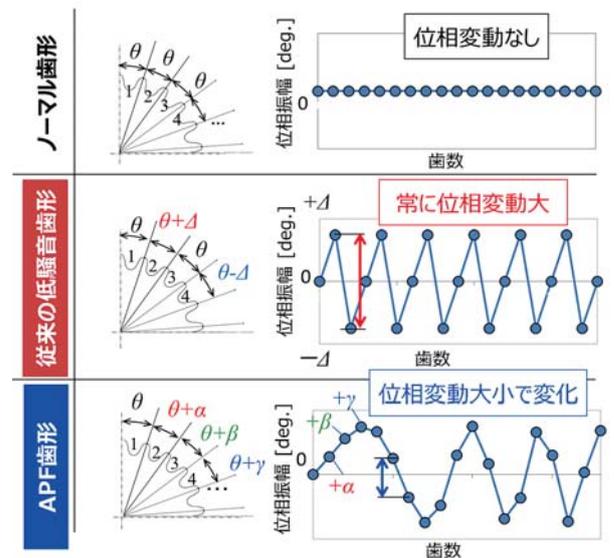


図4. 従来の低騒音歯形とAPF歯形の概要

3.3 新たな設計解析手法

3.3.1 設計手法について

昨今のカーメーカーのエンジン開発期間は短縮傾向であるため、歯形設計と評価を効率的に進める必要がある。

本開発では、機構解析ソフトを用いて解析ベースで歯形が設計できるオリジナルツールを開発した。機構解析とは物体の運動や接触を方程式でモデル化し、その振る舞いを検討する運動力学の手法である。解析結果と実体評価結果との整合性を検証することで、実体評価工数の大幅な削減が可能となった（図5参照）。

3.3.2 NVの指標について

解析はチェーンとスプロケットの噛み合いの“音”を出力できないため、別の物理指標で表現する必要がある。音圧の根源はチェーンとスプロケットの接触エネルギーである。本手法は、噛み合い時の接触力を騒音の解析指標とした（図6参照）。出力される接触力を周波数分析（FFT：高速フーリエ変換）にかけて周波数成分より得られる結果を騒音の指標とした（図7参照）。

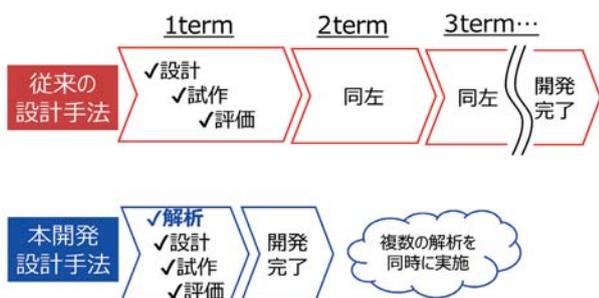


図5. 歯形開発のフローチャート



図6. 解析における騒音の指標

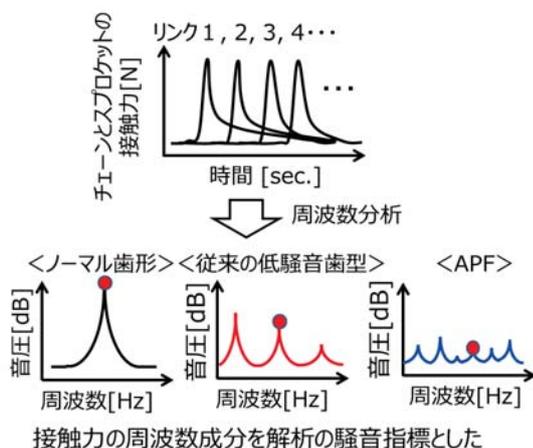


図7. FFTの解析イメージ

3.3.3 チェーン強度の指標について

スプロケットの歯形形状によってチェーンの接触力は変動する。図8は縦軸にチェーンの接触力、横軸にチェーンの巻きかかり時間を示したイメージ図である。APF歯形は、歯の位相を変動させているため、従来の低騒音歯形よりも小さな接触力にすることができる（図8参照）。

3.3.4 最適設計の方法

設計パラメータをさまざまに設定した数百の条件を自動解析し、噛み合い時の接触力を出力させる。その結果より、騒音低減効果を発揮し、かつチェーンの強度低下が最小となる仕様を選定する。各チェーンシステムのチェーン強度クライテリアの範囲の中で騒音低減効果が最大となる仕様を選定する（図9参照）。

解析ツールを用いることにより短時間で騒音低減と強度が最適化されたAPF歯形を選定することが可能となった。

3.4 実体評価結果

社内騒音試験機を用いてAPF歯形とノーマル歯形の騒音を比較した。APF歯形はノーマル歯形に対して次数音低減効果が得られ、解析の予測結果と実評価で新たな解析手法の整合性を確認できた（図10、図11参照）。

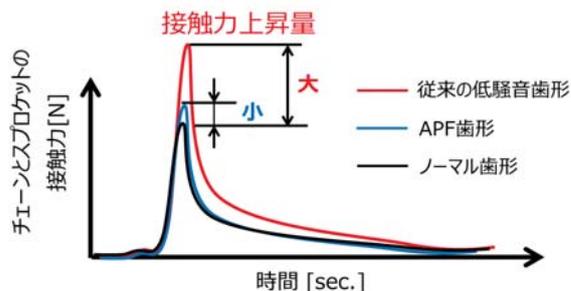


図8. 各歯形による接触力比較イメージ

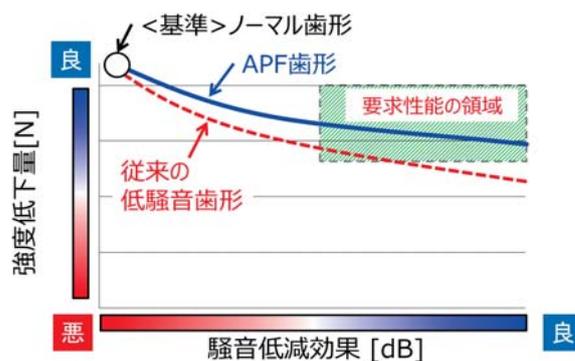


図9. 低騒音歯形の最適設計イメージ

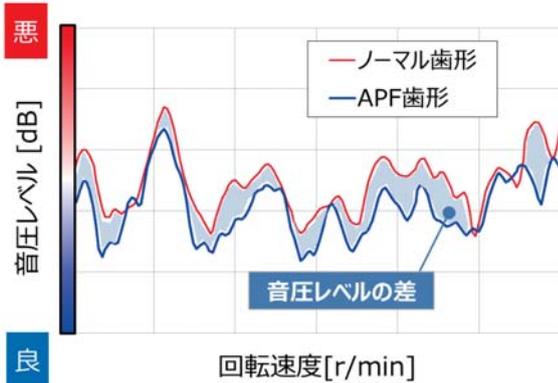


図10. 噛み合い1次数音比較結果（社内騒音試験）

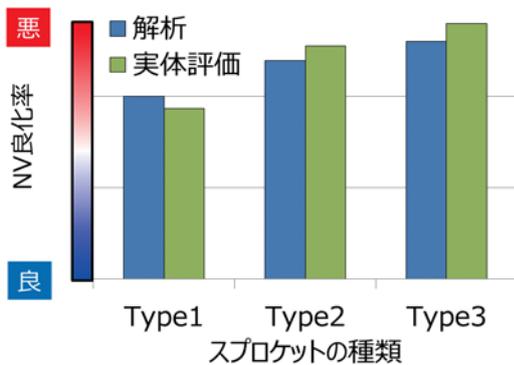


図11. 実体評価と解析の騒音比較結果

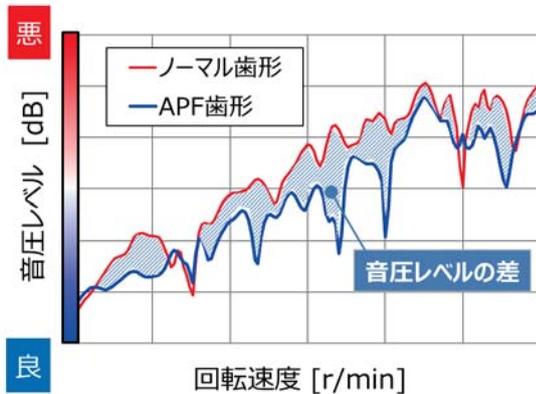


図12. 噛み合い1次数音比較結果（実エンジン）

次に、実エンジンにて APF 歯形とノーマル歯形の騒音を比較した。実機においても次数音低減効果が確認された（図12 参照）。

4. おわりに

本開発では、解析ベースで要求機能と強度の最適設計手法を確立し、機能的に優れた低騒音歯形スプロケットを開発することができた。

今後においてもカーメーカーのエンジン開発要望に素早く適応するため、さらなる開発スピードと予測精度の向上を目指して技術力強化を継続していく。

参考文献

- 1) 濱口秀史・他, 自動車用パワードライブチェーン, TSUBAKI TECHNICAL REVIEW, Vol.18, No.1, 2008, p.1-6
- 2) わかりやすい静音化技術 騒音の基礎から対策まで 一宮亮一著, 森北出版, p.127-142

全自動検体処理装置

Bio-Resource Full Automated Processing Management System

小谷野 渉^{※1}
Wataru KOYANO

相田 兼都^{※2}
Kento AIDA

横田 健次^{※3}
Kenji YOKOTA

ヒトの血液は医薬研究開発に重要な生体試料であり、その品質は研究成果に大きく影響する。品質を握る鍵は、短時間での成分分離・抽出と低温保管である。また、生体試料提供時には診断情報と連動した品質記録（処理時間履歴など）の提供によって研究品質向上にも寄与するとの考えから、血液サンプルの前処理プロセスから凍結保存までを完全自動化した商品を開発した。本報告では商品の特長と技術について紹介する。

We have developed a fully automated product from the pretreatment process of blood samples to cryopreservation. Human blood is an important sample for pharmaceutical research and development, and its quality greatly affects research results. The keys to quality are the separation and extraction of ingredients in a short time and low temperature storage. Moreover, providing samples together with quality records (processing time history, etc.) linked to diagnostic information also contributes to the improvement of the research quality. In this report, the features and technology of this product are introduced.

エコロジー訴求点と 顧客メリット

①省人化 ②安全確保 ③品質向上

1. はじめに

個々の患者へ最適な治療を提供するためには、試行錯誤的アプローチを介さずバイオマーカーによる遺伝的背景を含む疾患状態を把握することが有効と言われている。バイオマーカーの発見は、早期診断や有効な治療につながることから、多くの研究機関で探索が行われている。この探索研究では、血液成分の精密な質量分析を行うため、生体試料の品質が研究成果を大きく左右してしまうことから高品質な生体試料の収集・保管が課題であった。

このため、生体試料の品質向上に寄与する目的で、従来からの人手による作業を自動化できる全自動検体処理装置を開発した。

2. 開発のねらい

2.1 現状の問題

ヒト由来の生体試料を研究目的で保管する機関では、血液（以下、検体）から、血漿・赤血球・DNA（以下、サンプル）の抽出および保管容器への分注^{*1}作業（以下、検体処理）を研究者が手作業で実施しており、そのことに起因する、作業効率、感染リスク、記録、作業の正確性に関する問題を抱えている（表1）。

2.2 問題を解決するための方策

サンプルの自動ピックアップが可能な自動保管庫と、自動で検体処理が可能なプロセス装置を連結することで、人が介在することなく、検体処理から保管までの全自動化を実現させた（図1、図2）。

本装置を導入することで解決した問題とその結果を示す（表1）。

※1 マテハン事業部 技術・開発統括 システム技術部

※2 マテハン事業部 技術・開発統括 制御技術部

※3 マテハン事業部 技術・開発統括 情報技術部

表1. 現状の問題と解決

No.	問題	解決結果
1	検体が不定期に入ってくる上、即時処理を行う必要があるため、複数名の研究者が処置室に丸1日拘束される。	担当者が拘束されなくなる上、一人で作業を行うことができるようになり、本処理における対応リソースを80%以上削減した(表2)。
2	手作業であるため検体処理中は感染リスクを伴う。	直接検体に触れる機会がなくなり感染リスクを低減した。
3	サンプルの品質管理基準は検体採取から保管までの間の処理条件に加え、環境条件についても定められており、人手作業では記録・管理しきれない。	自動化することで、処理履歴を残すことを可能とした。検体情報が一元管理され、データのセキュリティを確保しヒューマンエラーを排除した。
4	手作業であるためサンプルの抽出量にバラツキが発生する。	分注作業を自動化することで、作業者の習熟度、スキルの影響を受けなくなり、サンプル抽出量のバラツキをなくした。
5	サンプル取り出しの際、対象の検索に時間を要する。	在庫情報をデータベース化することで検索を不要とした。



図1. 装置外観

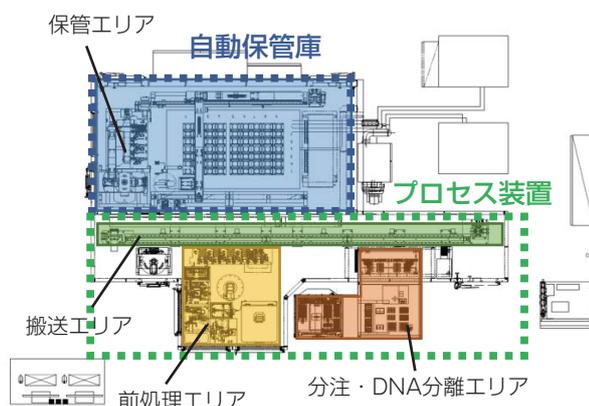


図2. 装置レイアウト

表2. 対応人員比較

	対応人数	作業時間 (拘束時間)	延べ作業時間
従来作業	複数名 	終日(7.5時間/日)	15時間/日 以上
自動化後	1名 	10分/回×18回/日	3時間/日

3. 製品の特長

3.1 製品機能

本装置は検体を遠心分離し、分離したそれぞれの成分(図3)を各種の処理工程を通して分取、保管を行う(図4)。

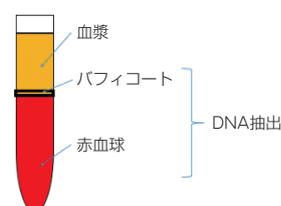


図3. 遠心分離後の血液成分

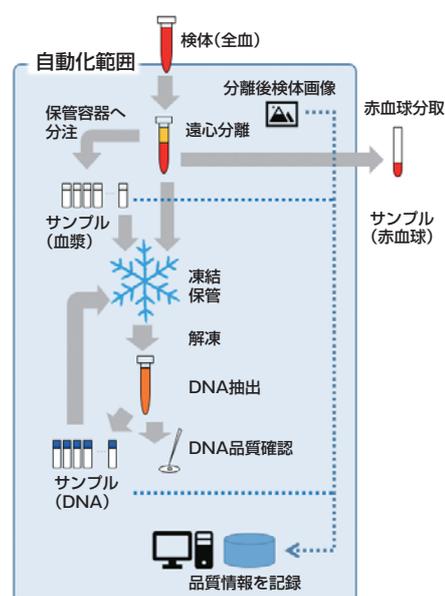


図4. 装置の自動化範囲および処理工程

3.2 プロセス装置との連携

今回、プロセス装置と自動保管庫を連携させることで、検体の凍結・解凍を適切な環境で行うことを可能にし、より高いサンプル品質を担保した。

自動保管庫はラボストック[®]80¹⁾を使用することで、サンプルの凍結保管を -80°C （研究用途でのサンプルの中長期保管の要求温度）で行う。また、搬送・ピッキングを行うエリアは -20°C で制御しているが、これは機械設備の安定稼働を維持しつつ、検体の温度上昇を低減させるためである。併せてエリア内の絶対湿度を管理することで、保管容器への結露を防止し、保管・搬送・ピッキング品質を担保している。

一方、プロセス装置のエリアは、サンプルから必要な成分を抽出するのに適した温度である 4°C で制御している。このエリアに対しては、ラボストック80内の -20°C の空気を温めて循環させている。これにより 4°C エリアにおいても湿度を低く保つことを可能にした。

3.3 並列処理

本システムでは、検体処理時間を短縮させるため各工程を並列処理させている。例えば、遠心分離処理中に別の保管容器を分注するといったようなことである。

また、保管容器1本1本に優先順位を持たせてデータベースで管理することにより、品質に影響がある工程を先行処理できる機能を付加させた。

3.4 画像による溶血・乳び・黄疸レベルの設定

血漿分注の際、遠心分離した血液の溶血・乳び・黄疸（血漿の状態の呼称）レベル（以後、血漿レベル）を研究者が目視確認して設定する必要がある。自動処理の中に研究者の作業を混在させると、後工程の自動処理が研究者の作業待ちとなり遅延が発生してしまう可能性があるため、自動処理装置と研究者の作業を切り分ける必要があった。

この課題を解決するため、プロセス装置の中にカメラを設置して保管容器内を撮像した画像を保存し、サンプル保管完了後に血漿レベル設定できるようにした。このことにより、研究者が目視確認して血漿レベル設定する必要がなくなり、人手作業の混在による後工程遅延のリスクを排除させた。

また、保管容器にはバーコードラベルが貼られているため、1方向からの撮像では内容物を確認できない恐れがある。このため、鏡を使用して1回の撮像で3方向の画像を取得できるようにし、角度を変え2回撮像を行うことで、6方向の画像で確認できる仕組みとした（図5）。



図5. プロセス装置での撮像画像



バランスウエイト

図6. 保管容器の均等配置

3.5 遠心機のバランス調整

遠心分離の際、保管容器を均等配置しなければならない。保管容器が偶数本の場合は、対称のステージに半数ずつ置くことで回転軸に対して対角位置のバランスが取れるが、奇数本の場合はバランスがとれず遠心できない。この課題を解決するため、バランスウエイトを置き調整可能とした（図6）。

3.6 サンプル保護

前処理エリアでは、保管容器単位で搬送をしているが、そのハンドリングには協働ロボットを採用した。その目的は、協働ロボットがもつ安全性をサンプルに対する保護に活用し、想定外の外力が保管容器に作用した際、破損させることなく設備を停止させることである。併せてこの協働ロボットの採用により、設備メンテナンスや異常復旧時の作業者の安全確保にもつながっている（図7）。

また、万が一の装置故障による設備停止に対しては、各装置の故障モードを弊社内で詳細に分析し、可能なも



図 7. 協働ロボット

表 3. プロセス指示

プロセス指示	指示による処理工程
ケース 1	血漿抽出、DNA 抽出
ケース 2	血漿抽出、赤血球抽出、DNA 抽出
ケース 3	血漿抽出、赤血球抽出
ケース 4	パフィーコート抽出
ケース 5	血漿抽出

のについては装置のリトライ動作や復旧動作を自動で実行させる。それらの動作が不可能なものについては、作業マニュアルを充実させ人手によるサンプルの救出を迅速に行えるようにした。

3.7 上位システムとの連携

保管容器を全自動検体処理装置にセットすると、自動でバーコードを読み取り、上位システムからの依頼ファイルにより指示された処理を自動で行う（表 3）。血漿抽出・DNA 抽出後、処理時刻や品質情報を自動作成して上位システムに報告する。

4. おわりに

今回報告した全自動検体処理装置で研究者が行う作業は、保管容器をプロセス装置にセットすることと処理後にパソコン上から血漿レベルを設定することだけである。

これにより、高品質な生体試料の収集・保管およびその品質記録を可能とした。

我々は設備メーカーであり、難病に苦しむ患者に対し直接貢献することはできないが、医薬研究開発に貢献することで、間接的に貢献することができる。

今回のプロセス装置は血液のみの取り扱いであるが、その他の生体試料、サンプルについても順次対応を行いたい。そして、様々な顧客要望に対して迅速に対応できるように、装置をフレキシブルに組換えることが可能なシステム構築を今後の課題とする。

そして、世界中の人々が健康的な生活を続けられるよう、これからも技術開発を続けていく。

参考文献

- 1) つばきラボストック®80 (バイオバンク型),
TSUBAKI TECHNICAL REVIEW, Vol.24, No.1, 2014, p.33

用語解説

- * 1 分注
試料となる液体を一定の容量ずつ吐出すること。
- * 2 分取
混合液から目的の物質を分離・精製すること。
- * 3 協働ロボット
規定された協働作業空間で、人間と直接的な相互作用をするように設計されたロボットのこと。

ろ過装置付きヒンジスチールコンベヤCLEANSWEEP™-G2

Hinge steel belt conveyor with separator CLEANSWEEP-G2

Mark MANDZUKIC^{*1}遠藤 堅一^{*2}

Kenichi ENDO

工作機切りくず搬送用標準ヒンジスチールコンベヤ MT10 と切削液ろ過装置付きハイエンド機種である CONSEP[®]シリーズの中間機種で、ろ過機能は必要であるが、コストは抑えたいというニーズに対応し、他社一般ろ過装置付きヒンジコンベヤで問題となるコンベヤ従動部での切りくず詰まりを解消する新方式（特許出願中）を採用した。

本報告書では、この市場要求に応えた CLEANSWEEP-G2 の開発について紹介する。

This is a mid-range chip conveyor model of a hinge steel conveyor MT10, and a coolant filter equipped High end CONSEP series for Machine Tools. It is a product that meets the need to reduce cost but requires filtration function. We have adopted a new method that eliminates chip clogging at conveyor tail section. This is the problem with our competitor's general hinge conveyors with filtration function.

This report introduces the development of CLEANSWEEP-G2 that meets this market demand.


**エコロジー訴求点と
顧客メリット**

①低コスト ②省スペース ③メンテナンス ④安全性向上

1. はじめに

チップコンベヤは、旋盤やマシニングセンターなどの工作機械に装着され、金属加工の際に発生する切りくずを、工作機械内部から外部へ運び出すコンベヤである。また、高速で切削される金属加工には、冷却や切りくず除去のために切削液が必要で、この切削液をろ過する機能も要求される。

当社では金属切りくず搬送と切削液ろ過装置の複合機 CONSEP シリーズを 1995 年に開発し市場へ送り出した。工作機械のメンテナンス時間の削減、稼働率の改善に貢献するハイエンド機種として、世界の工作機械業界、金属加工業界で採用していただいている。一方で、ろ過機能は必要であるがコストは抑えたいというニーズも高く、そのニーズに応えるためにろ過機能を備えていない標準ヒンジスチールコンベヤとハイエンド機種 CONSEP シリーズの中間機種として開発したのが、CLEANSWEEP-G2 である。

2. 開発コンセプト

CLEANSWEEP-G2 は、下記のようなキーワードをコンセプトに新商品開発を行った。

2.1 低コスト・省スペースの実現

標準ヒンジスチールコンベヤをベースに低コストとコンパクト化を実現する。

2.2 省メンテナンスの実現

- (1) クリーントankの清掃時間、回数の削減をはかる。
- (2) フィルターの点検、交換の作業性向上をはかる。

2.3 安全性向上、サービス供給体制

- (1) ISO-EN16090、EN618（機械の安全規格）に対応する。
- (2) グローバル対応の設計により日・米・欧の各拠点から製品とサービスを提供する。

※1 Mayfran International Inc. (USA)

※2 椿本メイフラン（株）技術部



図 1. 全体写真

図 1 は CLEANSEEP-G2 の全体写真である。

3. 特長

3.1 低コストでコンパクト化の実現

ろ過機能を有するチップコンベヤでは、ヒンジベルトの間に細かな切りくずが溜まり、従動部において円筒状に成長し、コンベヤを停止させてしまう弱点がある。CONSEP シリーズの ConSep2000[®] II ではこの対策として、フレーム内部に仕切り板を設けてベルトの裏側と仕切り板により細かな切りくずを搬送し、コンベヤ排出部で内蔵のスクリュウコンベヤによりコンベヤ外に排出している。また、ConSep2000 II の切削液ろ過機能は回転式ドラムフィルターを用いている。これらにより ConSep2000 II では装置や部品が多く、コスト高になりサイズも大きくなる。CLEANSEEP-G2 では標準ヒンジスチールコンベヤをベースにすることにより、低コストでコンパクト化が実現できた。

従動部における切りくず詰まりは、ベルト間に侵入した切りくずをコンベヤの側面へ誘導し、その後ベルトの一部分に設けた開口部より、コンベヤ底面に排出する新機構のインナーハンドリングシステム G2（特許出願中、切りくず排出方法は 5.2 を参照）により解決した。また、ろ過機能に関しては、従来の回転式ドラムフィルターから固定式のスクリーンボックスを採用し低コストでコンパクト化を実現した。

3.2 メンテナンス性の向上

標準ヒンジスチールコンベヤは、ろ過機能がなく、コンベヤ側面に設けたドレーン穴から切削液タンクへ細かな切りくずが流出する。一般的な切りくず流出の削減措置としては、ドレーン穴付近に金網ボックスなどをタンク内に設置し、定期的に金網ボックスを掃除する必要がある。



図 2. 安全規格対応

CLEANSEEP-G2 では固定式スクリーンボックスを採用することにより、コストを抑えつつユーザーの切削液タンク掃除頻度の削減を実現した。

スクリーンボックスは、目の粗いパンチングスクリーンと目の細かいパンチングスクリーンの二層構造にすることにより、スクリーンの強度を上げつつろ過精度（公称ろ過精度 150 μ m）を確保した。また、スクリーンボックスの目詰まりを削減するために、搬送用ヒンジベルトの動きを利用し、クリート（ヒンジベルト面上の掻き板）に取り付けたブラシとワイパーにより切りくずの除去を自動化した。

3.3 安全規格対応設計

安全カバー、コンベヤ排出部など ISO-EN16090、EN618（機械の安全規格）に対応した（図 2 参照）。

3.4 グローバルスタンダード製品（日、米、欧）

CLEANSEEP-G2 は、アイデア創出から試作、テストに至るまでグループ会社の 3 社で共同開発を行いグローバルスタンダード製品として、各拠点から製品とサービスを提供できる体制とした。

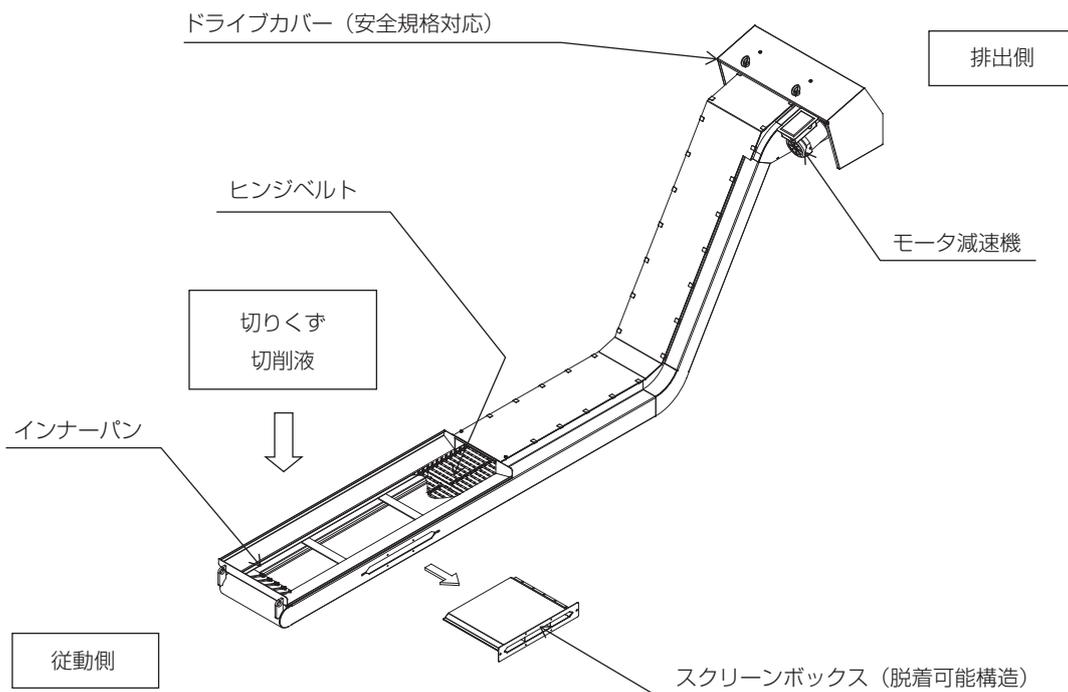


図3. 全体構成図

表1. CLEANSWEEP-G2仕様図

搬送物	材質：金属
	性状：長短切りくず
切削液	水溶性・油性切削液
処理流量	MAX400L/min (水溶性切削液)
フィルター	自動清掃機能付きダブルレイヤー スクリーンボックス 公称ろ過精度：150 μm
付加機能	従動部切りくず詰まり防止構造 インナーハンドリングシステム G2 ※特許出願中
安全規格	ISO-EN16090、EN618 対応
サービス	メイフラングローバルサポート 北米、欧州、アジア

4. 仕様

表1に CLEANSWEEP-G2 の仕様を示す。

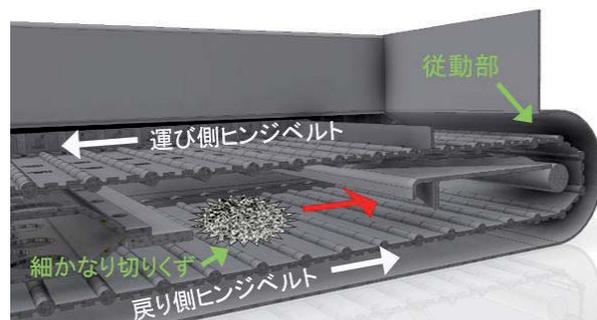


図4. ヒンジベルト内の切りくず

5. 構成

5.1 CLEANSWEEP-G2の構成

図3に CLEANSWEEP-G2 の構成を示す。

5.2 新機構インナーハンドリングシステムG2による切りくず排出方法

- (1) 工作機械より発生した切りくずと切削液がコンベヤに投入される (図3 参照)。
- (2) 長い切りくずは、運び側ヒンジベルトに乗りコンベヤ排出部へ搬送される。
- (3) 細かな切りくずは、切削液の流れとともにヒンジベルトの間へ流れ込む (図4 参照)。

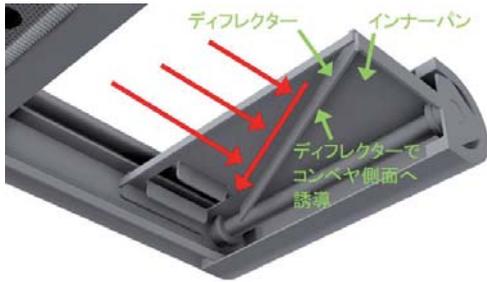


図5. インナーパン下面

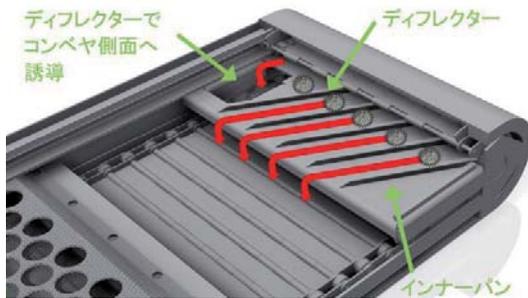


図6. インナーパン上面

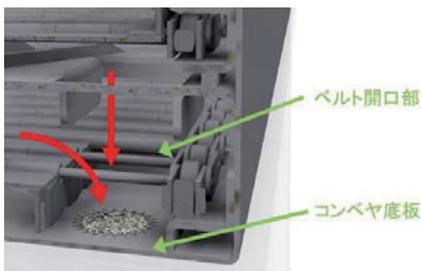


図7. 戻り側ベルト断面

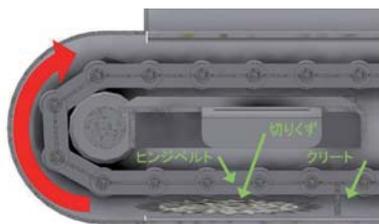


図8. 従動部

- (4) 細かな切りくずは、戻り側ヒンジベルトに乗り従動部へ搬送される。
- (5) 切りくずは、インナーパンのディフレクターでコンベヤ側面へ誘導される (図5・6参照)。
- (6) コンベヤ側面側へ集まった切りくずは、ベルトに設けた開口部からコンベヤ底板に落ちる (図7参照)。
- (7) コンベヤ底板に落ちた切りくずをヒンジベルトとクリーンで運び側へ掻き揚げる (図8参照)。
- (8) 切りくずは、運び側面で機械から投入された切粉と、コンベヤ内部より排出された切粉の2層に分離されコンベヤ外に排出される (図9・10参照)。

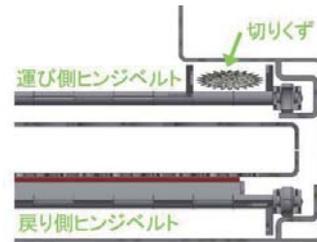


図9. コンベヤ断面



図10. 排出切りくず

6. おわりに

当社開発グループは、低コストで且つ濾過能力を持ったセパレーターコンベヤの開発を最重要パラメータに設定するという厳しい条件のもと開発を進めた。その結果、この厳しい設計要求はアイデアの源になり、シンプルなデザインで過機能を有した新製品を生み出した。その過程においては多くの時間を思考に費やし、数々のアイデアを出し、試作とテストを繰り返し行い完成させた。このCLEANSWEEP-G2が長きにわたりお客様に満足いただける製品ライフサイクルを全うするよう、引き続き改善を重ねたい。

【特許出願中】