March 2008

No. 12

BANDO TECHNICAL REPORT

バンドーテクニカルレポート

バンドー化学株式会社

バンドー テクニカルレポート
No.12 2008年3月

目　　次

巻 頭 言

「バンドーテクニカルレポート」第12号刊行に当たって 1
執行役員　松岡　宏

研 究 論 文

平ベルト伝動システムの開発 2
梅田　栄

HRHシステムによる亜鉛コードとSBRの加硫接着における樹脂成分の役割 11
塩山　務／森　邦夫／大石　好行／平原　英俊／成田　榮一

磁気粘性流体を利用した鏡面創成技術の開発 18
佐藤　隆史／山口　ひとみ／進村　武男／岡崎　貴彦

ゴム材料の耐候性評価用標準試料 26
和田　法明／相村　義昭

戸建て住宅向け仕口高減衰ゴムダンパーの性能評価及び地震応答予測 36
古田　智基

技 術 資 料

コアシェル構造シリカコート粒子 43
田辺　美晴／武居　正史

特 許 ・ 実 用 新 案 登 録 一 覧 (2006年10月～2007年9月) 47

新製品紹介

バンコランロングシンクロベルトLSB－U S14M、S25M 52
摩擦伝動ベルトにおける省エネルギー対応技術について 54

TOPICS (2006.11～2007.11) 59

BANDO TECHNICAL REPORT
No.12 (March, 2008)

CONTENTS

FORWARD

On the 12th Issue of the Bando Technical Report 1
Hiroshi MATSUOKA
Executive Officer
Engineering and R&D

REPORTS

Flat Belt Power Transmission System Having High Power Capacity and Efficiency 2
Sakae UMEDA

Function of Resin Components in the Direct Adhesion of SBR
to Zinc during Curing with an HRH Adhesion System 11
Tsutomu SHIOYAMA / Kunio MORI / Yoshiyuki OISHI / Hidetoshi HIRAHARA / Eiichi NARITA

Study of Mirror Finishing Process Using Magneto-rheological Fluid 18
Takashi SATO / Hitomi YAMAGUCHI / Takeo SHINMURA / Takahiko OKAZAKI

Reference Materials for Weathering Test of Rubber Products 26
Noriaki WADA / Yoshiaki AIMURA

A Development of the Damper Device which Used High Damping Rubber to Install in
Joints for Wooden Houses 36
Tomoki FURUTA

TECHNICAL LETTER

Silica-coated Particles Having Core-shell Structure 43
Miharu TANABE / Masafumi TAKESUE

PATENTS

..... 47

NEW PRODUCTS

..... 52

TOPICS (2006.11 ~ 2007.11)

..... 59

巻頭言

「バンドーテクニカルレポート」第12号刊行に当たって

執行役員　松岡　宏

平素は当社の製品・サービスをご愛顧いただき誠にありがとうございます。

さて、本年は、「京都議定書」のスタートの年であり、温室効果ガスを1990年比で、2008年から2012年の間に6％削減する必要があります。企業活動に起きましても、この為の生産改善・製品開発で積極的に貢献する必要があります。

当社は、2004年度より、「環境・省エネ」をキーワードに、これらに貢献する活動を推進して参りました。また、2007年度より、上記に「コンパクト化、クリーン化」を加え、より一層の推進をしております。

今回この活動の一環を知っていただくために、①省エネ伝動を可能とする「平ベルと伝動システムの開発」、②コンパクト化が促進できる「磁性粘性流体を利用した鏡面創製技術の開発」、③生産現場で発生する産業廃棄物の削減に役立つ「ＨＲＨシステムによる亜鉛コードとＳＢＲの加硫接着における樹脂成分の役割」の３件を加え、計５件のレポートを報告させていただきます。

また、昨年10月に、本社との連携強化・次世代の技術開発の一層の促進を目的とし、神戸市のポートアイランドに建設した本社事業所に、研究開発部門を移転いたしました。心機一転、環境に優しいバンドー化学として、当該技術開発の拍車をかける所存です。

今回のレポートを是非ともご高覧いただき、ご意見・ご助言等をいただければ幸甚に存じます。

Forward

On the 12th Issue of the Bando Technical Report

First, I would like to express my appreciation for your continued use of our products.

Now, this year is the first year of the Kyoto Protocol and it is necessary for us, between 2008 and 2012, to reduce greenhouse gas emissions by 6% below 1990 levels. It will require proactive contributions in production improvements and product development as well as the carrying out of business activities.

Since 2004 we have been very conscious of energy conservation and environmental protection and we have progressed in our contributions toward these 2 items. In addition, since 2007, along with the above mentioned items, we have been putting more emphasis on “economic use of space” and “products for use in “Clean Rooms””.

In this report, the 12th issue of BTR, we include 3 technical thesis in addition to other technical reports; 1) Flat Belt Power Transmission System Having High Power Capacity and Efficiency, 2) Study of Mirror Finishing Process Using Magneto-rheological Fluid 3) Function of Resin Components in the Direct Adhesion of SBR to Zinc during Curing with an HRH Adhesion System the reduction of waste material generated at production sites

Furthermore, in October last year we moved head office and the Research & Development Center to our newly established premises on Port Island, Kobe, with the aim of further promoting and strengthening cooperation and next generation technology development. I expect Bando, as a company that has turned over a new leaf in its efforts to be “kind” to the environment, to be spurred on by the aforementioned technology development.

I kindly request that you peruse this report and would be most obliged to hear any comments or opinions.

Hiroshi Matsuoka
Executive Officer
Engineering and R&D

研究論文

平ベルト伝動システムの開発

Flat Belt Power Transmission System Having High Power Capacity and Efficiency

梅田　栄*

Sakae UMEDA

A positioning device of flat belts with very simple structure has developed, which prevents the belts from wandering off. The device has a component of a tension pulley with its axis swinging along a pin. The axis swings in a manner in which the positions of a flat belt on driving and driven pulleys are stabilized. The swing motion is mechanically driven in a self-regulating manner. The source of its driving force is moment of force arising from a belt tension when the belt is being misaligned. Therefore, there is no need for external devices providing the driving force and its control. The position control device realizes a flat belt power transmission system with completely flat pulleys having no flange. This flat belt system with no crowned pulley has a high power capacity and excellent transmitting efficiency.

1. 緒　言

当社の歴史を振り返ると、伝動ベルトの出発点は平ベルトであった。当時の平ベルトは木綿などを用いたものであり、時代の流れにより高伝動と用途拡大が進み、それに対応すべくＶベルトを誕生させた。そして、更なる用途拡大、高トルク伝動、高効率、コンパクト化、長寿命化のニーズに対応すべく、種々のＶベルト（ラップド・ロウエッジ・リブドタイプ）を誕生させたように、当社伝動事業は、高機能ベルトを次々と新製品として生み出してきている。

しかしながら20世紀末から21世紀に入った今日の社会ニーズは、地球環境保護を重点に『環境』と『省エネ』をキーワードとしてより高効率が求められている。そのニーズに応えるには伝動ベルトとそれを構成するシステムの効率を最大に求める伝動方式が必要であり、それらのシステム化について検討を行った。その結果、当社の伝動ベルト歴史の出発点でもあり、高効率といわれる平ベルトの存在に着目し、もう一度平ベルトについて見直すことにした。

従来、平ベルトを用いる上での問題としては２つあると考えられる。第１に伝動能力の不足である。平ベルトは、くさび構造を有さず、直接的な摩擦伝動のみとなるため、伝動能力を上げるには高い摩擦係数、もしくは高い張力が必要であるが、従来は、以下に述べる第２の問題により、高張力伝動に向かず、高張力に耐えうる材料を適用したベルトがなかった。

第２の問題として、平ベルトを伝動する上で最も懸念とされていた蛇行の制御技術である。平ベルトは、スパイラル状に心線を埋設するため蛇行と呼ばれる幅方向に移動する癖や、プーリ軸心のミスアライメントによって幅方向に移動してしまう特徴を持っている。したがってそのままでは、蛇行を生じ、プーリから脱落してしまうため、プーリにフランジを設けそこに接触させる、またはプーリ接触面をフラットではなく、クラウンと呼ばれる、プーリ端部よりも中央部をやや高くした弧状形状にすることで、力学的にプーリの中央部を走行させるなどの蛇行抑止技術を適用していた。

しかしながらこれらの方法では、フランジの場合、側面の接触による摩耗・発熱、あるいは乗り上げによる寿命の著しい低下が生じる。またクラウン構造の場合では、面圧の不均一による伝動能力の低下、心線応力集中による寿命の低下が生じる。以上のような理由で、平ベルトは「使いにくい」と言われてきた。

そこで本報では、高効率という特長を有する平ベルトに高張力伝動を可能にさせる新しい蛇行制御デバイスの開発に成功したので、その結果について報告する。

2. 平ベルト伝動の問題点と解決方法

2.1 伝動ベルトの種類とその性能

伝動ベルトは大きく分類すると、平ベルトやＶベルトなどの摩擦伝動と、歯付きベルトなどの噛合い伝動の２種に分類できる。何れも一長一短はあるものの、それぞれの特徴を活かした用途に今日まで用いられてきた。特に摩擦伝動においては、当社の歴史からも伺えるように平ベルトを出発として、高伝動化ニーズに対応すべくＶベルトが開発され、更に自動車用としてリブドベルトが開発されてきた。これにより平ベルトのニーズが低下し、使用されなくなってきた。本来は表１にもあるように伝動能力性能・蛇行性を除けば、平ベルト性能は高いことが示されており、特に効率面においては、プーリへの曲げ屈曲時のエネルギー損失が小さいことから、非常にメリットがあることがわかっ

*伝動技術研究所

表１　ベルト種別性能比較表

項目＼動形式		摩擦伝動（くさびあり）		摩擦伝動	噛合い伝動
		Ｖベルト	Ｖリブドベルト	平ベルト	タイミングベルト
伝動能力		○	○	×	
伝動効率		△	△	◎	○
プーリの小径化		×	△	◎	○
ベルトの速度限界		△	○	◎	△
角速度変動許容		○	○	◎	△
同期性		△	△	△	◎
静寂性		○	○	◎	×
蛇行		○	○	◎	×
背面駆動（標準）		△	△	×	△
耐久性	クラック	△～×	△	○	△
	セパレーション	×	△	◎	△
	摩耗	○	○	◎	△
発熱		△	○	◎	△
コスト	ベルト	△	△	○	○～△
	プーリ	○～△	○～△	◎	×

ていた。しかしながら低い伝動能力性能と、特に蛇行をすると言う問題から、市場では積極的な使用はされてこなかった。逆に言えば、その伝動能力性能・蛇行性の問題を解決することで、他のどれよりも非常に優れた伝動方式になるということが言えるわけである。

2.2　問題点とその解決ヒントについて

まず伝動能力について考えてみると、図２を見るとわかるように、くさびを有するＶベルトは、くさび効果により低荷重で高伝達力を発揮できるが、高荷重（ベルトを押し込む力）時に座屈を生じてしまう。しかしながら平ベルトは、くさびが無い分、荷重に対しリニアな伝動形態となり、高荷重において座屈は生じない。すなわちＦ＝μＮの式で示されるそのものであり、μの確保と高荷重に耐えうる強力を有すれば、伝動能力はＶベルト相当に確保できるわけである。

次にベルト蛇行について考えてみると、ベルト蛇行は、図３に示すようにベルトがプーリに対しある角度

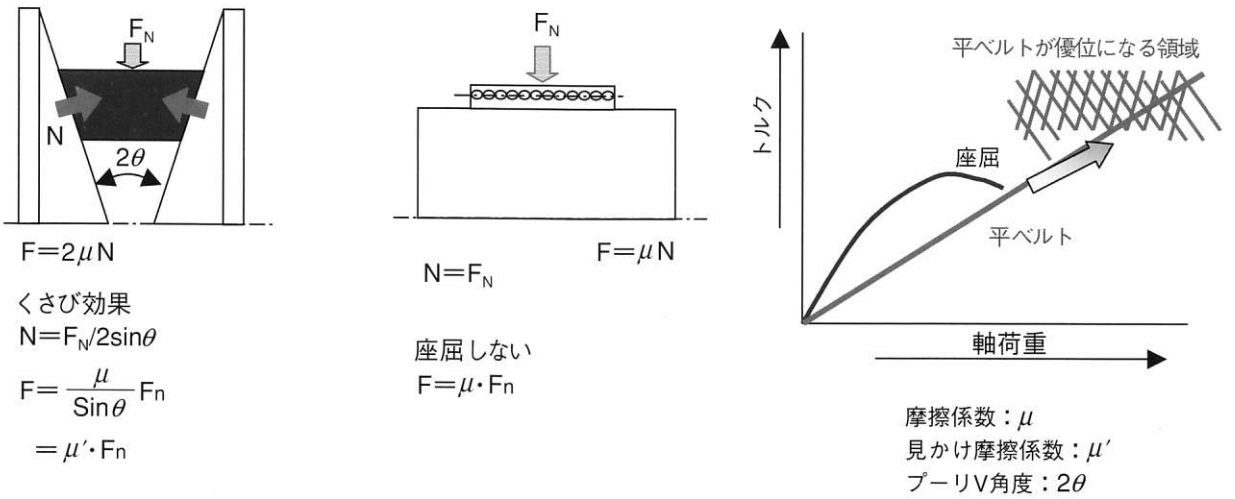


図２　伝動形態（Ｖベルトと平ベルト比較）

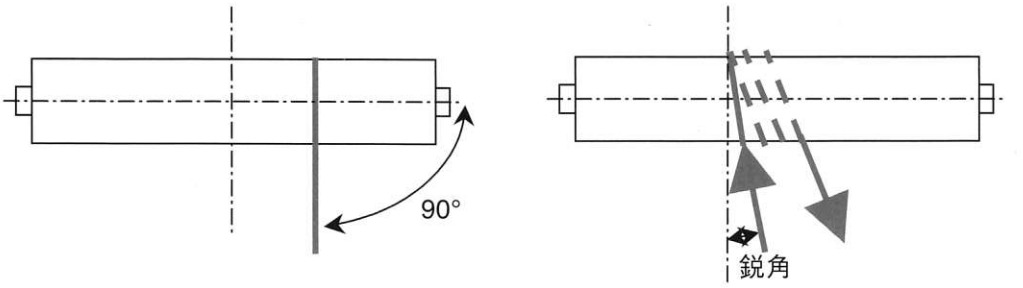


図3　蛇行の原理（メカニズム）

（鋭角）をもって進入したとき、プーリに接触したその点に固定されるため、次々に進入する位置がずれてゆくために蛇行が生じる。すなわち進入した後はプーリに対し垂直に進むことになる。また各プーリを水平にして、ベルトが直角にプーリに進入できたとしても、ベルトに埋設する心線のスパイラルの影響などにより上記の原理で蛇行は生じてしまうことになる。逆に言えば、この原理（メカニズム）を利用することで意図的に方向を変化できるわけである。

2.3　従来の技術

従来蛇行の問題を解消するための技術としては、先に記述したようにクラウニングプーリ化やフランジ接触などの蛇行抑止があり、特にクラウニングプーリの方が主流であった。また平ベルト自体は、そのクラウニングプーリでの伝動を行うために、逆に高張力対応とはせず、幅方向に柔軟なベルト設計を行なっており、高伝動を行えるような構造ではなった。

2.4　目標の設定（解決方法）

今まで述べてきた理論をもとに考えると、次のようなシステムの構想が考えられる。その構想をもとに設計試作を行ない、実験による検証を実施した。

平ベルトの伝動は蛇行を生じるものであり、その原因は 2.2. 項に述べたプーリとの進入角度関係にある。逆にその進入角度をコントロールすることで、蛇行の制御が可能になる。またそのコントロール方法は複雑な制御を用いるのではなく自律制御を行うことで容易な構造化を実現する。

新たな機構に求められる機能としては、

① ベルトの蛇行方向と大きさを検出し、修正をする。

② 蛇行修正を外力に頼らない。

③ ベルトに余分な力を与えず、平ベルト本来の伝動性能を発揮させる。

がある。

3. 1 次 設 計

3.1　1 次設計構想

設計構造としては前記のシステム構想に述べたように、伝動システム中にベルトの進入角度を制御できる機構を付与することを考案した。またその機構を用い張力を付与することで、張力をも利用することが可能になると考えた。下図 4 に示すように、駆動・従動プーリ間に張力付与を行うテンショナーを設け、さらにそのテンショナープーリ機構にベルトの進入角度を制御する機構を設けた。

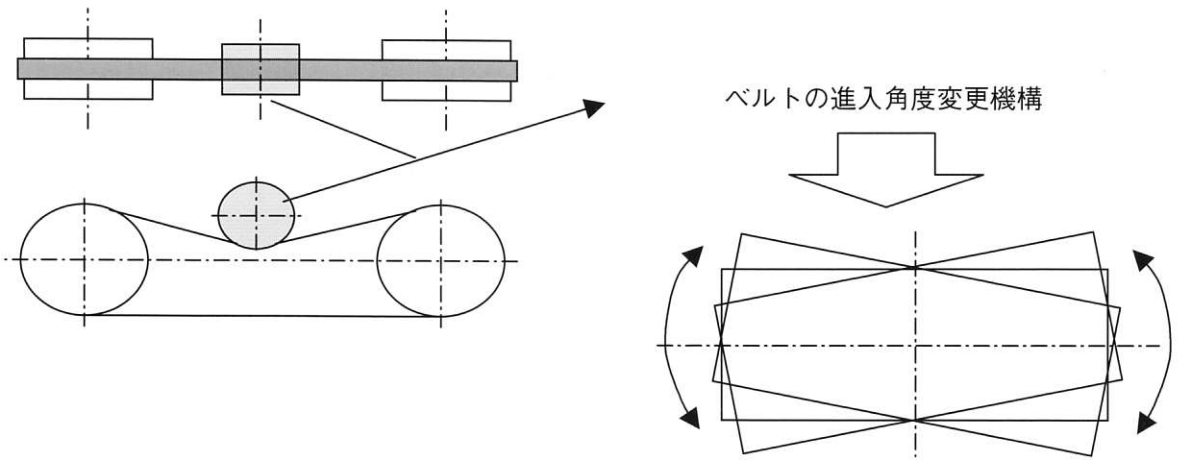


図4　駆動・従動プーリとテンションープーリ機構

3.2　1次設計の具体的構造

設計構想で考案した蛇行を制御するプーリ構造は、図5のようにベルトに対しそのプーリが進行方向に対し向きを変更できる構造として、プーリ内部にピンを設け、プーリ軸とプーリをピンで連結した。またその向きの変更（進入角度の変更（制御））は、テンショナープーリ端面に回転しない固定フランジを設け、ベルトが蛇行し端部に寄った際、そのフランジに接触する摩擦力から、プーリ向きを変える仕組みとした。

3.3　1次設計品の実験結果

1次設計品をベンチにおいて平ベルトを取り付け、運転を実施してみると図6のような結果が得られた。

下記に示すように1次試作品の機能としては、蛇行した際にベルトが伝動面端部に設けたフランジ部に接触し、その摩擦力で向きを変える構造であったため、向きを変える機能としては成立するものの、摩擦により、伝動面左右両端部のベルト摩耗が生じてしまうと言う問題が生じた。

よって要求機能に対し整理してみると、下記表2に示されるように、③のベルトに余分な外力を加えてしまっており、機能を全て満足することが出来なかった。

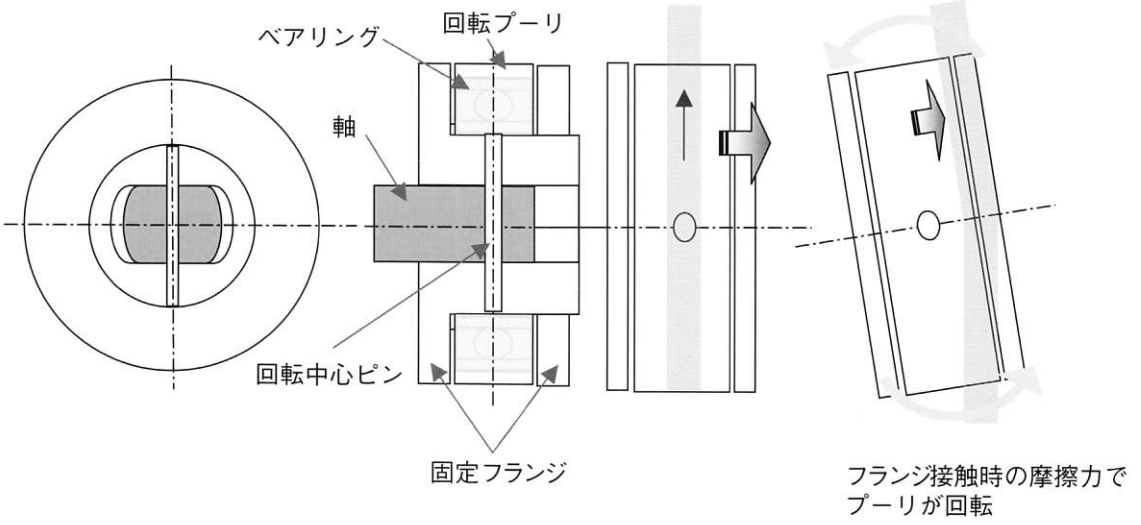


図5　1次設計品構造図とメカニズム

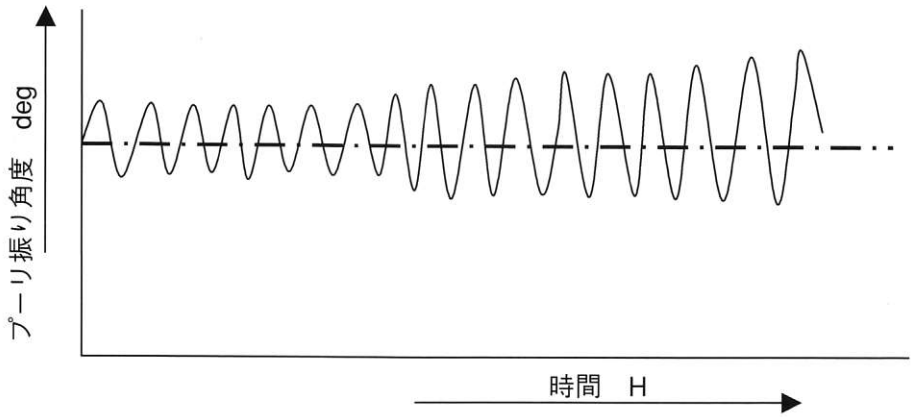


図6　1次試作品実験結果（運転時のプーリ振り角状態）

表2　要求機能に対する1次試作品の実験検証結果

狙いの機能	1次設計の結果	
①ベルトの蛇行方向と大きさを検出し、修正をする。	○	プーリ首振り構造で成立
②蛇行修正を外力に頼らない。	○	ベルト摩擦力利用
③ベルトに余分な力を与えず、本来の性能を発揮させる。	×	フランジ面との摩擦接触摩耗

4. 2次設計

4.1 2次設計構想

1次設計品では、要求全てを満たすことは出来なかったものの蛇行を制御するということは可能であった。このことから、1次試作品の構造と結果をヒントにもう一度見直してみると、まずプーリの首振りはピンを中心に行われている。しかしながら外力を用いずにプーリの向きを変えるには、伝動上生じる力を用いる必要がある。伝動上、プーリとベルト間で生じる力としては、摩擦力と張力の付与によって生じる反力がある。このベルトの張力付与により生じる反力（ベルト合力）を用いてプーリの首振り力を発揮させる構造として、図7に示したような、シーソの原理をヒントに利用した構造を考案した。すなわち、ベルトがプーリ幅方向に位置ズレを生じた際、ベルト合力によってシーソの原理を利用すると言うものである。

4.2 2次設計の具体的構造とメカニズム

2次設計構造としては、4.1項にあるようにシーソの原理を利用した構造として図8を設計した。構造の内容は7つの部品からなる構造とした。プーリとベアリングを結合しその下にカラーと称するベアリング保持とピンを連結する部品を設けた。また軸力はカラーより半月プレートを介し、軸に伝わる構造とし、ピンと軸の摺動部にブッシュを設けた。この半月プレートから上の部分をプーリ向き変化させるようにし、軸との摺動は半月プレートが行うようにした。

2次設計品のメカニズム説明

2次設計品のメカニズムについては以下の通りである。すなわち、図9のように、まずピンの向きをプーリに生じるベルト合力F方向に対し直角となるようにしてみると、図10～11に示すようにシーソの原理の効果が発揮され、プーリの向きが変化できるようになる。ところが、この方向はベルトの蛇行を大幅に修正する

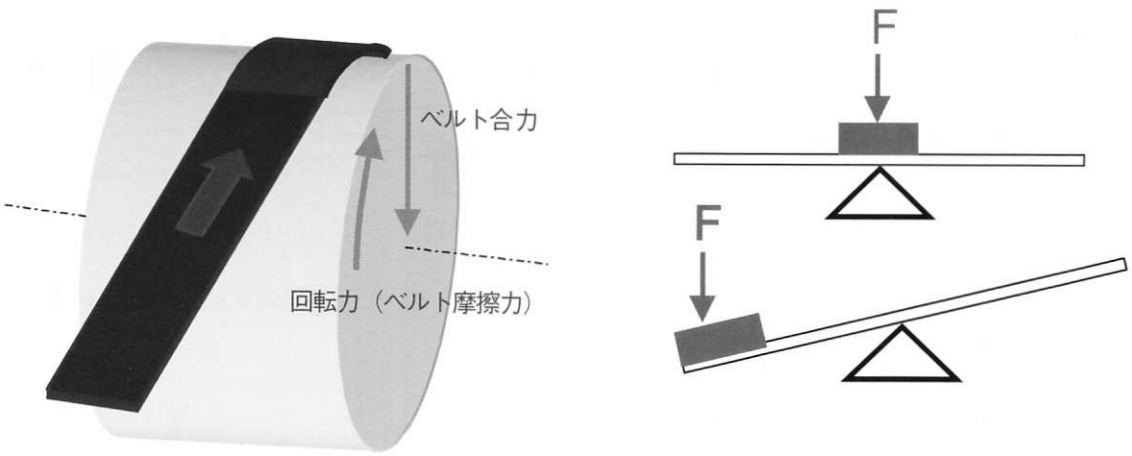


図7 シーソのメカニズム利用の考えかた

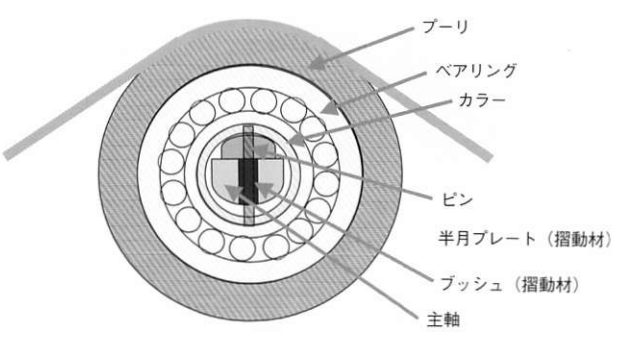


図8 2次設計品の構造

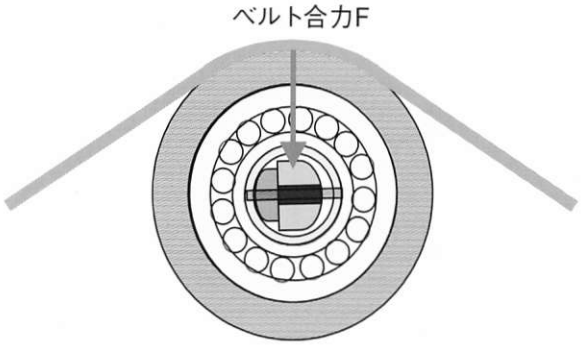


図9 ピン方向1

方向の変化ではなく、大幅な蛇行修正の実施は出来ない。X-Yのグラフ上にFの位置を置いてみると図12のようになる。

次にピンの向きをプーリに生じるベルト合力F方向に対し平行となる方向にしてみると、下図13のようにベルトが蛇行してもシーソ原理は生じないが、プーリを外力によって向きを変えると大幅に蛇行を修正できる方向になる（1次設計と同じ向き）。

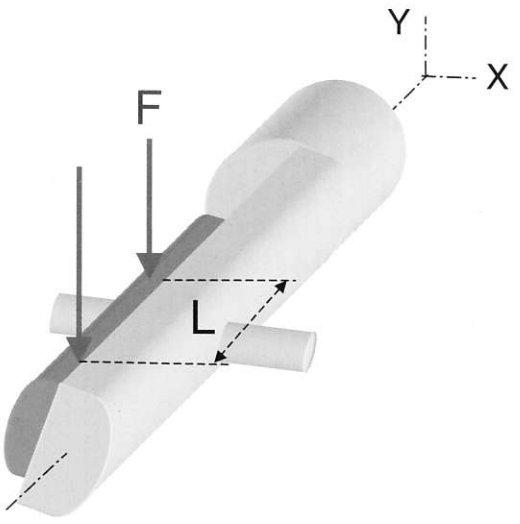


図10　ピン方向1のときの合力F位置

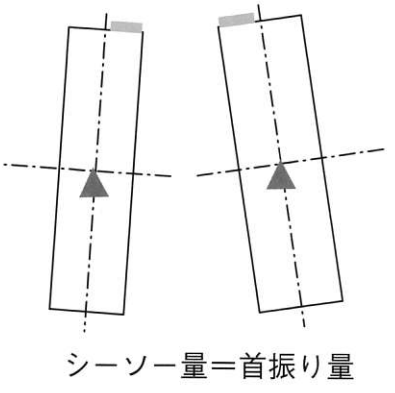


図11　ベルト位置とプーリ首振り

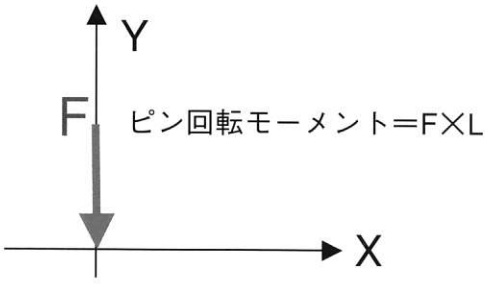


図12　X-Y上における合力F位置

以上から、それぞれのピン方向では要求機能（狙い）に対し、全てを満足する方向はないことになる。しかしそれぞれの機能を全て発揮するピンの方向として、図16のようにすることによってそれぞれの機能を全て発揮できることが設計検討を行った結果予想された（図17・18・19参照）。

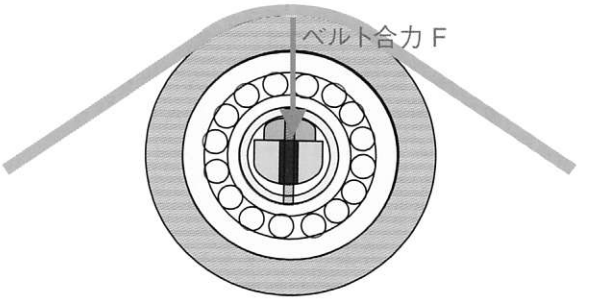


図13　ピン方向2

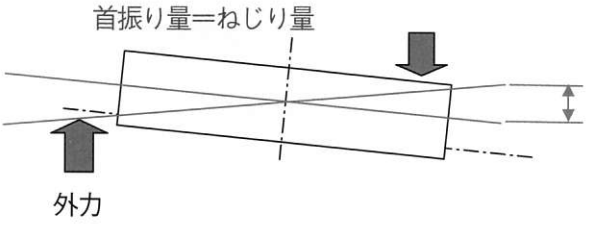


図14　ベルト向きとプーリ首振り量

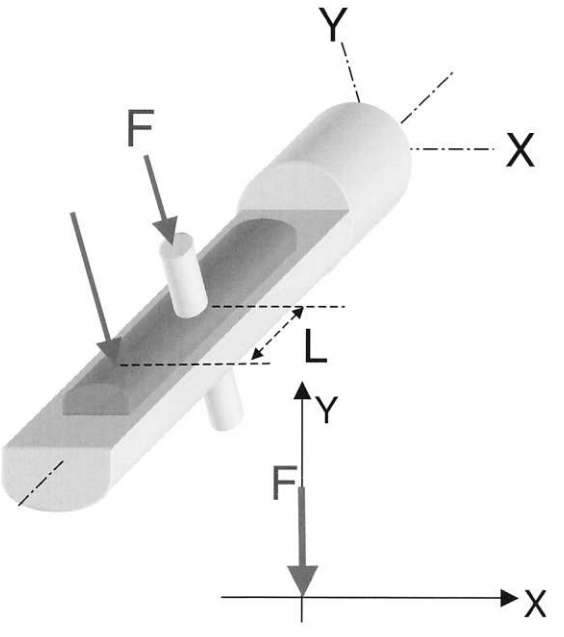


図15　X-Y上における合力F位置

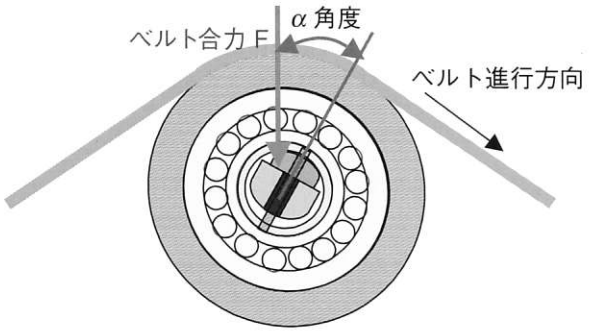


図16　α角度設定方向

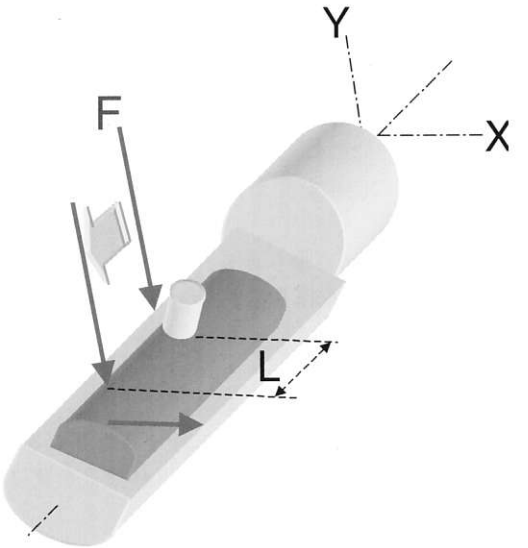


図17　ピン方向αのときの合力F位置

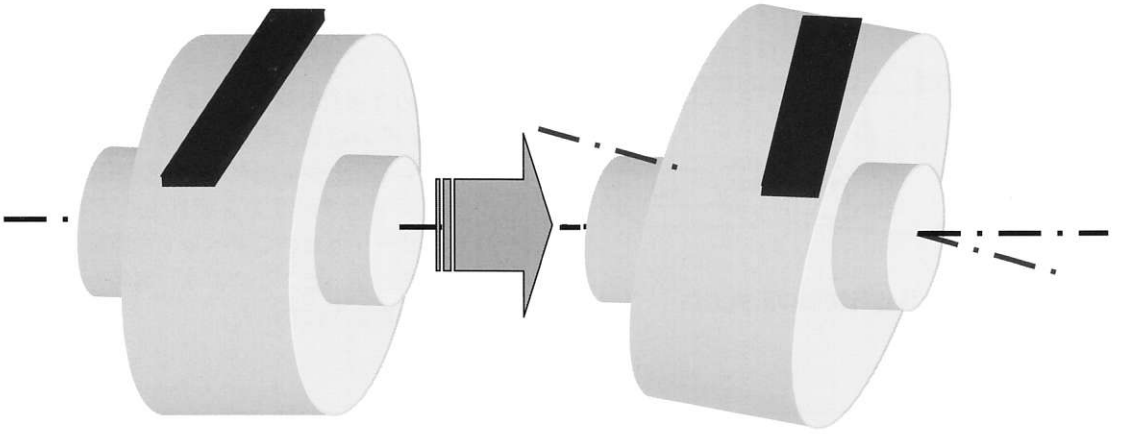


図18　ベルト位置とプーリの傾き

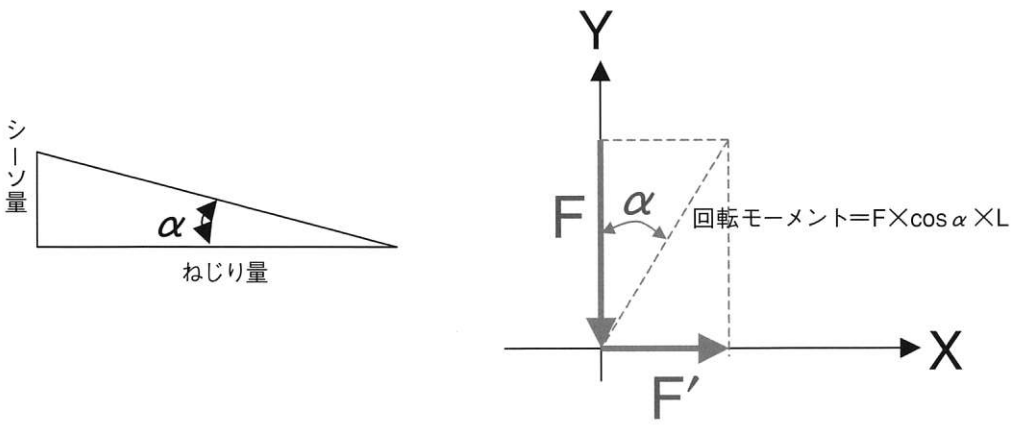


図19　X-Y上における合力F位置

上図に示すように、ベルト合力Fに対し蛇行を生じた際、その合力は図16に示すベルト回転方向に対し、ピンを一定の角度に設定するα角度によってプーリの回転モーメントを生じプーリに回転（首振り力）を生じる。またその時のねじり量Nは、首振り量×cosαとなり、ベルトの向きを変えることも可能になる。

式にすると

ねじり量N＝首振り量K・cosα……式1

シーソ量S＝首振り量K・sinα……式2

で表すことができる。

4.3　2次設計品の実験検証方法

2次設計品を下図20のようにセットし運転を行う。その際プーリの首振り角度とベルト移動量を変位センサーにて計測してみた。

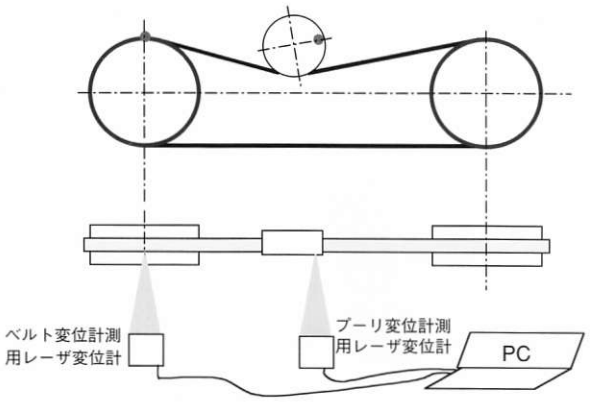


図20　2次設計品蛇行制御の計測方法

4.4　2次設計品の実験結果

実験を行った結果、図21のように、運転開始時、プーリが首を振りセットしたベルトの向きの修正をはじめ、次にベルトが幅方向に位置修正を行い、その波形は徐々に減衰するという結果が得られ、設計構想のメカニズム通り蛇行を自律制御することが可能になった。

5. ま と め

平ベルトはベルトの製造方法などによって持っている幅方向への蛇行特性、またレイアウト設定上から生じる角度ミスアライメントによる蛇行が生じる特性をもっていた。しかしながら今回、新たなデバイスを伝動システム上に設置することによって、その蛇行は自律制御が可能となった。その新たなデバイスは、3.5のメカニズムに沿った動きを生じる結果となり、ベルト伝動上生じるベルト張力によって生じる合力を利用し、プーリの向きを自律で変化させ、ベルトの向きを変えることが可能となった。さらにこのメカニズムでは、ベルトに余分な力は生じさせてはおらず、平ベルト本来の機能を発揮することが可能となった。

またこの2次設計構造を用い、実機上での評価検証を行った。その結果、実機上においてもその機能は十分に発揮することが可能となり、従来技術で用いていたクラウニングプーリの必要性もなくなり、全くフラットなプーリにおいて平ベルトを駆動・従動させることが可能となったことにより、高張力により高伝動が実現できるようになった。

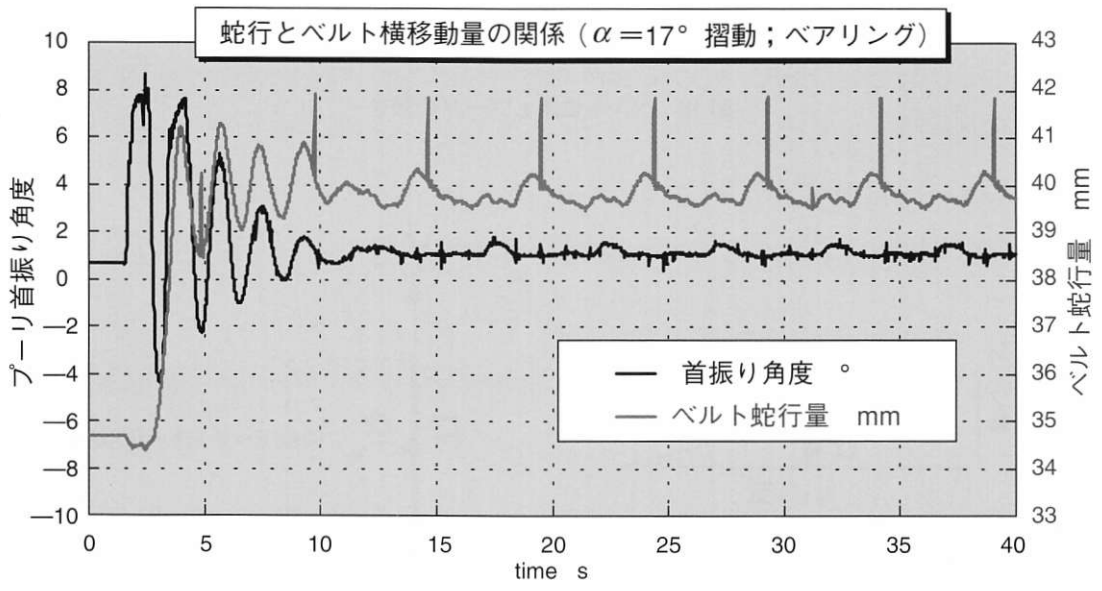


図21　回転時における首振り角度とベルト位置変化（実験結果）

最後に、緒言に述べるように現社会ニーズは省エネ・環境保護にあるといえる。そのニーズに伝動システムにおいて答えられる機能は、高効率であり、平ベルトはベルト伝動上において高効率を発揮することが可能であるが、今回、平ベルト単体への取り組みではなく、システムとして平ベルトの伝動形態から着目し、そのメカニズムや特性・従来技術の持つ問題などを十分に解析し開発に取組んだ。また伝動メカニズムを徹底し解析し、メカニズムを理論的に検証することによって、本新規デバイスの開発が成功したものであり、要求機能項目であった、蛇行の制御を自律で行いベルトへの影響をなくすこという全ての項目を達成することが出来たわけである。

6. 参 考 文 献

ベルト伝動の実用設計：ベルト伝動技術懇話会　会編 1996

梅田　栄
Sakae UMEDA
1985年　入社
伝動技術研究所

研究論文

HRHシステムによる亜鉛コードとSBRの加硫接着における樹脂成分の役割

Function of Resin Components in the Direct Adhesion of SBR to Zinc during Curing with an HRH Adhesion System

塩山　務[*1]　Tsutomu SHIOYAMA
森　邦夫　Kunio MORI
大石　好行　Yoshiyuki OISHI
平原　英俊　Hidetoshi HIRAHARA
成田　榮一[*2]　Eiichi NARITA

The function of resin components such as methylene donors, methylene acceptors and silica was investigated in the adhesion of stylene-butadiene rubber(SBR) to zinc during curing with an HRH adhesion system. Adhesion strength was increased with an increase in the ability of polymerization of the donor and acceptor compounds in the adhesion of SBR to zinc. Both the methylene donor (e.g., hexamethylenetetramine) and the methylene acceptor (e.g., resorcinol) migrated to the interface between Zn and SBR during curing reaction. In this case, adhesion strength was generated by forming a reinforcement layer of resin at the interface. The layer is produced by reaction of the methylene acceptor and the donor. In the SBR compound, polymerization of the acceptors and the donors is delayed by the presence of silica, therefore the acceptor and donor are able to migrate to the interface. The resin layer at Zn/SBR interface works not only as a reinforcement layer but also as a binder which connect SBR molecules with zinc. Resorcinol reacted with PbO and then $C_6H_4O_3Pb_2$ was formed. The $C_6H_4O_3Pb_2$ migrated to the interface. This result suggested that the resorcinol acts as carrier as well as a methylene acceptor.

1. 緒　言

ゴムと金属の複合製品はタイヤ、ベルト、防振ゴム、免震・支承ゴム、ローラー等として産業分野において広く使用されている。これらの製品の機能および寿命に影響する接着技術の発展は製品の顕著な品質向上をもたらし、新たな機能の発現を可能にした。しかしながら、接着現象の解明は被着体と接着剤の組み合わせの多様性と界面の複雑さゆえに究明しつくされることのない技術的課題であり、界面結合理論と現象論からの推察の間でいまだギャップを抱えた状況であるといえる。

金属とゴムの加硫接着は、主としてタイヤ製造における黄銅コードとゴムの加硫接着に関してたくさんの研究がなされ[1-4]、その概要は明らかにされつつある。しかしながら、黄銅とゴム間の接着強度発現の原点についてもいまだ統一された見解が周知されているとはいえない。加えて、亜鉛とゴムの加硫接着に関しては学術論文の数も黄銅とゴムの加硫接着ほど多くはなく、その概要すら明らかになっていない[5-8]。一方、我々はニッケルめっき法や有機めっき処理金属法などによる金属とゴムの加硫接着の研究を通じて、界面化学結合と界面補強層の形成が接着強度を高めるために重要であることを示してきた[9,10]。界面化学結合の生成は直接的な接着強度の増加のみならず二次結合力の発揮による間接的な接着強度の増加に対しても作用して、異種材料間の界面層を安定化する働きをしている。さらに、界面補強層は金属/ゴム間の応力集中を緩和するため、補強層のモジュラスが金属より低くかつゴムより高いことが重要であることも分かっている。

本報では、亜鉛コードとスチレンブタジエンゴム（SBR）の加硫接着におけるHRH接着システム（ヘキサメチレンテトラミン－レゾルシン－水和シリカ練り込み接着システム）の配合因子であるレゾルシン系樹脂

[*1] 運搬建設資材事業部
[*2] Department of Applied Chemistry, Iwate University, Ueda Morioka 020-8551, Japan

形成成分の役割を解明することが目的である。

2. 実　験

2.1 材料と試薬

亜鉛めっきスチールコード（亜鉛コード、乾燥剤封入）は4.1mm径の亜鉛コード（興国スチールワイヤ製）とめっき厚さが約25μm総厚0.8mmの亜鉛めっき鋼板を用いた。

SBR（JSR1500）、酸化亜鉛（堺化学製），ステアリン酸（日本油脂製）、HAFカーボンブラック（三菱化学製N330）、プロセスオイル（ジャパンエナジーR50）、硫黄（鶴見化学工業製）、PbO(堺化学製)，N-Cyclohexyl-2-benzothiazolylsulfenamide（CBS、大内新興化学工業製）、6-Ethoxy-1,2-dihydro-2,2,4-trimethylquinoline（ETMDQ、大内新興化学工業製)などは市販品を使用した。また、ヘキサメチレンテトラミン（以下ヘキサミン、三新化学製）、ヘキサメチロールメラミンペンタメチルエーテル（HMMP、住友化学製）、ヘキサメトキシメチルメラミン（Cyanamid製）、メチル化メラミン（三井化学製）、ベンゾグアナミン（三井化学製）、オキサゾリジン（Uniroyal製）、テトラクロロ－1,4－ベンゾキノン（Uniroyal製）などのメチレンドナー、及びレゾルシン（住友化学製）、アルキルレゾルシン（名古屋油化学製）、レゾルシンホルマリン初期縮合物（RFC、住友化学製）、クレゾール樹脂（住友化学製）、アルキルフェノールレゾルシンホルマリン共初期縮合物（APRFC、住友化学製）、β－ナフトール（Cyanamid製）などのメチレンドナーは市販品をそのまま使用した。

2.2 配合と接着

未加硫配合ゴムはTable 1にしめされるように、SBRからなるブレンド配合ゴム（以下ゴムと略す）を調製した。未加硫配合ゴムは、硫黄と加硫促進剤を除く全配合をインターナルミキサー（神戸製鋼製BR型）にて混練り後、冷却した10インチロールにて硫黄と加硫促進剤を添加して作成した。12時間以上静置後、所定厚みにシート出しを行い、接着試料を準備した。亜鉛めっき鋼板は表面研磨後トルエンにて表面洗浄を行い直ちに被着体として実験に供した。亜鉛コードは幅50 mm厚さ3.5 mmのゴムシート2枚の間に挟み込み、150℃のキュアメトリーにて設定したt_{90}+10分のプレス加硫を行い、コードの5cmが埋め込まれた引抜き試験用試料（Hテスト用試料）を作成した。ゴムシートと亜鉛めっき鋼板のはく離試験用試料は、厚さ4 mmのゴムシートと亜鉛めっき鋼板とを重ね合わせて150℃でt_{90}+10分プレス加硫を行い作成した。

Table 1　Basic recipe for adhesion between Zn and rubbers

Materials	Weight/phr
SBR	100
Stearic acid	2
Zinc oxide	5
PbO	2
HAF　Black	30
Silica	10
Process oil	3
CBS	1.2
Sulfur	1.5
Resorcinol	2
Hexamine	1.5

2.3 接着界面近傍の成分分析

接着界面近傍の元素分布を観察するためEPMA（X線マイクロアナリシスXMA）線分析の測定を行った。EPMA線分析は、島津製作所製EMX-SM型を用い、加速電圧20kV、試料電流0.018μA、ビーム直径1μm、試料移動速度10μm/cm、X線取り出し角52.5度にて測定した。CKα、SKα、PbMα、SiKαおよびZnLαの測定を行った。また、界面近傍ゴム層のCKスペクトルは加速電圧15kV、試料電流0.05μA、ビーム径10μm、X線取り出し角52.5度にて測定を行った。測定試料は接着試料の金属側から接着界面近くまでノッチを入れ液体窒素にて冷却した状態で破断した。破壊は大部分が亜鉛／鋼界面ではく離した状態でおき、ゴム側に亜鉛めっきが接着した小片が偶発的に発生する状態となった。繰り返し小片の作成を行い、ゴムとめっき亜鉛の破断面に段差のない平坦な試料を採取し分析試料とした。

2.4 HRH接着成分と酢酸鉛の反応

HRH接着システムにおけるレゾルシンの役割を検討する目的でレゾルシンと酢酸鉛の反応を水中で検討した。レゾルシンの0.2mol/Lの溶液を調製し、酢酸鉛をレゾルシンに対し0.1から3倍モルまで変化して添加した。次に反応溶液のレゾルシンに対し6倍モルのアンモニアを加え70℃で3時間かくはんすると暗橙色レゾルシン金属化合物の沈殿が得られた。沈殿物は原吸光分析等により分析行った結果、酢酸鉛の添加量に関係なく一定の組成（C;13.1%、H;0.51%、Pb;76.4%）を有し、$C_6H_4O_3Pb_2$（C; 13.39%、H;0.75%、Pb;76.96%）と推定される。ベンゼン環の特性吸収（1500cm^{-1}、1600cm^{-1}）が観察され、OH基の吸収（3200cm^{-1}）がないことから、Figure 1の化学構造を有していることが分かった。

シリカの役割を検討する目的で、レゾルシン10 g、ホルマリン4.5 g、酢酸鉛6.4 gを50mlの水に溶解し40 gのシリカを加えて70℃で、沈殿生成物が生成するまでの時間を測定した。

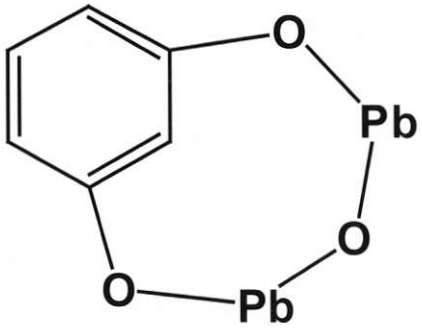


Figure 1 A reaction product between resorcinol and lead acetate.

2.5 測定

キュアメトリー指標はJSR製キュラストメーターⅡ型にて150℃で測定した加硫曲線により決定した。加硫ゴムの物性試験用試料は150℃、t_{90}+10分プレス加硫にて2 mmの加硫スラブを作成し、JIS規格（K6151）に従って引張試験を行った。亜鉛コードの引抜き試験は万能型引張試験機にて100mm/minの引抜き速度で実施し、5cmの埋込み長さ当たりの引抜き強度（kN/5cm）で評価した。はく離試験はJIS規格（K6256）に従って行った。試験はいずれもn＝4で行い平均値を求めた。

3. 結果と考察

3.1 レゾルシン系樹脂形成成分の接着促進効果

HRH接着システムにおいて、ヘキサミン（H）等のメチレンドナー成分、レゾルシン（R）等のメチレンアクセプター成分、含水シリカ（H）は亜鉛とゴムの接着強度を発揮する上で必須成分である。メチレンアクセプターとメチレンドナー成分は縮合してレゾルシン樹脂成分を与える役割をし、含水シリカは硫黄による加硫反応を抑制し、かつレゾルシンの拡散を促す働きをするとの予測の元で研究を行った。すなわち、レゾルシンはメチレンアクセプターとして、ホルマリン誘導体はメチレンドナーとして作用し、接着界面でレゾルシン樹脂を生成させるとの仮説の実証が研究の目的である。Table 2は亜鉛板とゴムの接着物のはく離強度に及ぼすメチレンドナー類の影響を示す。接着特性は接着物の初期はく離強度、その時のはく離面の観察、湿熱劣化（70℃温水に168時間浸漬）後のはく離面の観察から行った。ベンゾグアナミン、オキサゾリジン及びテトラクロロ－1,4－ベンゾキノンのようにメチレン基の発生能力が低いものは接着性の向上を示さない。ヘキサミンはメチレンドナーとして作用し、メチレン基の発生能力が十分高いので、接着性の向上に有効である。さらに、HMMPやヘキサメトキシメラミンのように、メチレンアクセプターと反応して樹脂化しやすい構造のメチレンドナーは初期接着強度を高めるのに有効であり、かつはく離面の観察からゴム層破壊が起こっており、優れた接着性が発揮される。この結果は樹脂化しやすいメチレンドナーほど初期の接着強度を高める能力を有していることを示している。したがって、樹脂化前駆体のメチレンドナーが接着強度の向上に有効であることが分かる。次に、亜鉛板とゴムの加硫接着物の接着性に及ぼすメチレンアクセプター類の影響をTable 3に示す。アルキルレゾルシンやナフトールのように、メチレン基をアクセプトする能力の劣るものは接着強度が低い。レゾルシンやクレゾール樹脂はこれらよりメチレン基アクセプト能力が勝るので、接着強度の向上に有効である。さらに、RFCやAPRFCはメチレン基をアクセプトする能力を有し、かつ樹脂化前駆体であることから接着強度の向上に最も有効なアクセプターである。

以上のように、メチレンドナー及びメチレンアクセプターの樹脂化能力が接着性に寄与し、樹脂化する能力が制御されるとき、接着強度の向上に有効であるこ

Table 2 Effect of methylene donors on the adhesion properties of SBR to Zinc plates during curing for 40 min at 150°C.

Methylene donors	Adhesion test		
	PS[1] kN/m	Failure	Water aging (70℃,168hrs)
Hexamine	10.6	SRA	M
HMMP	19.1	HR	HR
Hexamethoxymetylmelamine	16.1	SRA	M
Methylmelamine	15.2	SRA	M
Benzoguanamine	5.1	SRA	M
Oxazolidine	3.8	M	M
Tetrachloro-1,4-benzoquione	4.2	M	M

1) PS: Peel strength
Recipe (phr) : SBR100, HAF black 30, Silica 10, Stearic acid 2, ZnO 5, Oil 3, ADPAL 1, CBS 1.2, S 2, PbO 2, Resorcinol 2.5, Hexamine 1.6.
150℃ x 40min press.
Failure: M; Metal/Rubber interface, SRA; Spot Rubber Adhesion, HR; Heavy Rubber.
HMMP : Hexamethylolmelamine pentamethylether

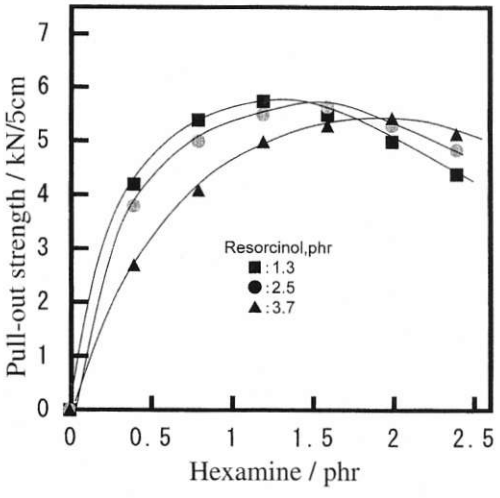
Table 3 Effect of methylene acceptors on the adhesion properties between SBR rubbers and zinc plates

Mthylene acceptors	Adhesion test		
	PS[1] kN/m	Failure	Water aging 70℃,168hrs
Resorcinol	10.1	SR	M
Alkylresorcinol	6.5	TR/M	SR
RFC	15.1	HR	SR
Cresol resin	10.2	R/M	M
APRFC	16.7	SR	M
Naphthol	2.8	M	M

1) PS: Peel strength
Recipe (phr) : SBR100, HAF black 30, Silica 10, Stearic acid 2, ZnO 5, Oil 3, ADPAL 1, CBS 1.2, S 2, PbO 2, Resorcinol 2.5, Hexamine 1.6
Failure: M; Metal/Rubber interface, SRA; Spot Rubber Adhesion, HR; Heavy Rubber.
RFC : Resorcinol formalin initiate concentrate
APRFC : Alkyl phenol resorcinol formalin initiate co-concentrate

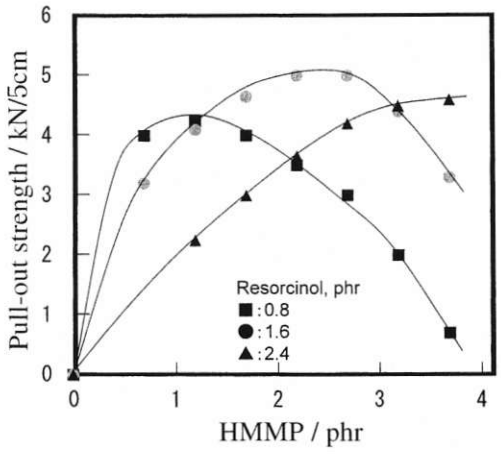
とを予測しているが、さらにこの解析の妥当性をメチレンドナーとメチレンアクセプターの混合比率を変化させて検討した。Figure 2は亜鉛コードとゴムの引抜き強度に及ぼすレゾルシン/ヘキサミン混合比の影響を示した。レゾルシン濃度一定で、ヘキサミン濃度を上昇させると引抜き強度は上昇し、極大値に達した後低下した。最初の上昇はレゾルシンとヘキサミンが接着界面に拡散して樹脂化前駆体を形成後、樹脂化した結果と判断される。すなわち、ヘキサミン濃度の上昇による接着界面層における樹脂濃度の上昇が引抜き強度の増加として現れたものと考えられる。ヘキサミン濃度の上昇による引抜き強度の低下は樹脂化前駆体が接着界面に到達する前に高濃度に達して樹脂化が起こり、結果として接着界面での樹脂濃度が低下したためと推測される。極大値はレゾルシン濃度の上昇と共に減少し、かつそのヘキサミン濃度は上昇の傾向にある。この結果は接着界面における樹脂濃度の低下が引抜き強度の低下に大きく関連していることを示している。Figure 3 は樹脂化前駆体であるHMMPとレゾルシン混合比を変化させた結果である。引抜き強度とHMMPの関係はヘキサミンとレゾルシンの場合と同じ傾向を示すが、低レゾルシン濃度においてでも十分な引抜き強度が得られ、強度が極大に達することが分かる。これはHMMPのような樹脂化前駆体をメチレンドナーとして用いた場合、ヘキサミンの場合（Figure 2）より、接着界面相で樹脂化しやすいためと考えられる。HMMPとヘキサミンでは一分子あたりのメチレン基に大差はないが、HMMPが多官能性のメチレン基として作用するので樹脂化の反応速度が前者の方が大きいことによると考えられる。

以上のように接着界面層における樹脂化の程度が接着強度発現に大きく寄与していることが明らかとなった。



Recipe(phr): SBR100, HAF black 30, Silica 10, Stearic acid 2, ZnO 5, Oil 3, ADPAL 1, CBS 1.2, S 2, PbO 2, Resorcinol 1.3, 2.5, and 3.7, Hexamine variable. Press condition; 150°C × 40 min.

Figure 2 Effect of hexamine concentration on the pull-out strength of zinc cord/SBR adherents.



Recipe(phr): SBR100, HAF black 30, Silica 10, Stearic acid 2, ZnO 5, Oil 3, ADPAL 1, CBS 1.2, S 2, PbO 2, Resorcinol 0.8, 1.6, and 2.4, HMMP variable. Press condition; 150°C × 40 min.

Figure 3 Effect of hexamethylolmelamine pentamethylether (HMMP) concentration on the pull-out strength of zinc cord/SBR adherents.

3.2 シリカの役割

ゴムの白色配合で使用されるシリカは硫黄の加硫反応を抑制することはよく知られている。Table 4はCBS/S加硫系による加硫特性と接着性に及ぼすシリカの添加効果を示したものであるが、シリカ添加配合によりts（最小トルクにある時間）及びt_{90}値が大きくなっており、明らかに加硫反応は抑制されることが分かる。さらに、亜鉛とゴムの接着においてHRH接着システムの効果を発揮させるためにはシリカの存在が不可欠である。シリカの加硫反応の抑制効果がメチレンドナーやアクセプターの接着界面への拡散を助ける上で有効に働いているのは架橋鎖の生成がゴム中でのメチレンドナーやアクセプターの拡散を抑制すると考えるからである。シリカの役割は単に加硫反応を抑制してメチレンドナーやアクセプターの拡散を助けるだけでは説明

Table 4 Effect of silica addition on curing properties, pull-out strength(POS) and induction period (IP) the reaction of resorcinol, lead acetate and formalin.

Silica, phr	Curemetry		Adhesion		IP, h
	t_s/min	t_{90}/min	POS, kN/5cm	Coverage, %	
0	1.8	20	2.2	0	0.5
10	7.1	34	8.2	100	4.8

Recipe(phr): SBR100, HAF black 30, Silica 0 or 10, Stearic acid 2, ZnO 5, Oil 3, ADPAL 1, CBS 1.2, S 2, PbO 2, Resorcinol 2.5, hexamine 1.6. 150°C x 40min press.

できない事実もある。別途報告するが、HRH接着システムにおいて加硫促進剤の種類や量の変化による研究では、接着性が誘導時間や加硫速度と完全に相関しない場合がある。ある範囲内の誘導期や加硫速度が確保されると、それ以上はこれらと関係しない作用がシリカに予想される。

レゾルシン、ホルマリン、酢酸鉛の水溶液を70℃でかくはんすると、三者からなる樹脂化Pbの沈殿物が得られるが、シリカはこの反応を抑制する。Table 4に示すように、樹脂化Pbの沈殿物が生成する誘導期間（IP）はシリカの添加により著しく抑制される。シリカはゴム中のメチレンドナーとアクセプターによる樹脂化反応を抑制することにより、接着界面へのメチレンドナーとアクセプターの拡散を助ける役割をしていることになる。

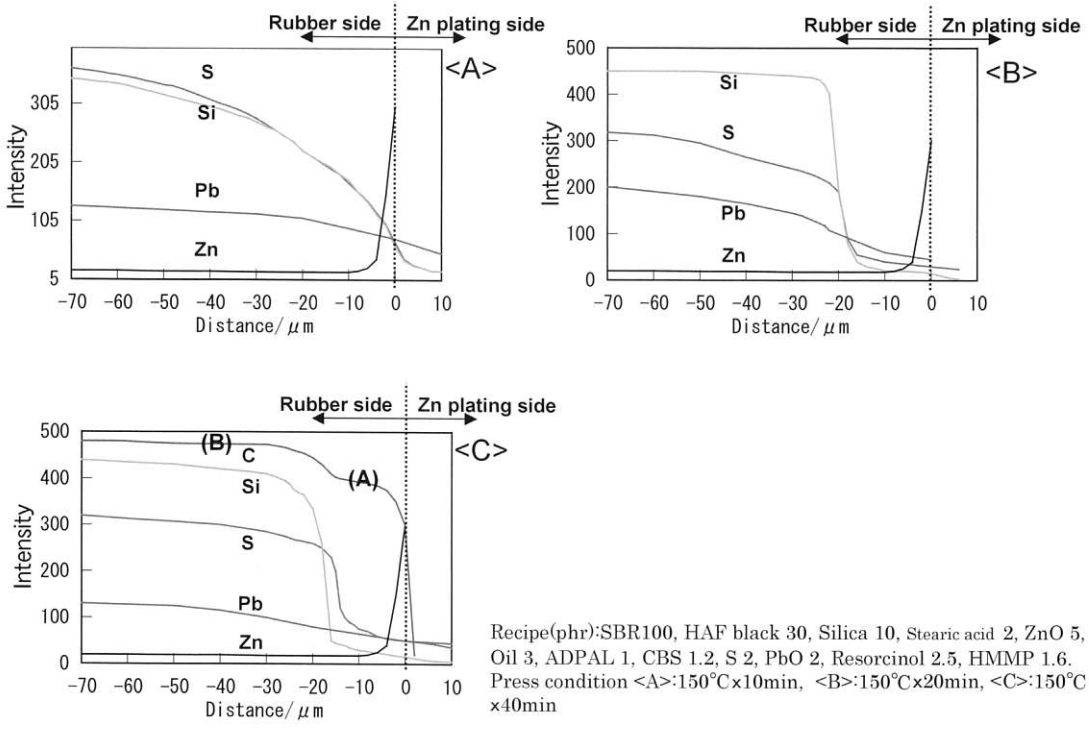
3.3 レゾルシンの役割

前述したようにレゾルシンは樹脂化成分であり、界面層を形成するのに重要な役割をしていると同時に、鉛化合物と特定の化合物を形成することが明らかとなった。レゾルシンと酢酸鉛を70℃でかくはんすると両者の添加比率に関係なく、暗橙色沈殿が得られる。この化合物は元素分析の結果$C_6H_4O_3Pb_2$の組成の鉛化合物であった。$C_6H_4O_3Pb_2$がHRH接着システムにおけるキー物質とみて、基本配合においてPbOの代わりに添加して、亜鉛とSBRの接着を行ったところ、高いはく離強度（PS:18kN/m）の接着物を得た。このように、レゾルシンは接着界面へ移行する過程で鉛化合物と反応し、鉛を運ぶキャリヤーとしての役割をすることも明らかとなった。

3.4 接着界面構造

本研究ではHRH接着システムのレゾルシンやヘキサミンが接着界面に移行すると考えて議論を展開してきた。この前提が立証されて始めて、HRH接着システムのレゾルシン、ホルマリンおよびシリカの役割が解明されたことになる。Figure 4はHRH接着システムで得られた亜鉛/SBR接着物の接着界面近傍のEPMAによる線分析の結果を示す。

Figure 4<A>、4<B>および4<C>は加硫度が10%、50%、100%に対応する。横軸はそれぞれのZnLαの立ち上がり点を接着界面と見なし界面からゴム層側への距離を負で、亜鉛めっき層側への距離を正で示している。150℃、10分加硫ではゴム内部層からゴム/Znめっき界面へ向かってSおよびSi濃度がなだらかに連続的に低下している。PbはS，Siほど顕著でないがやはり低下の傾向にある。Znは界面を位置づけるための測定である。しかしながら、20分加硫ではZnめっき面に接する約20μmのゴム層が、ゴム内部層から不連続にS、Si濃度が極めて低くなっている。Pbは10分加硫時よりも明瞭に界面に向かって低くなっている。40分加硫での傾向は20分加硫時と変わらないが、Sの低濃度層の厚みが薄くなっている。また、C濃度もS，Si濃度が急激に低下する面で段差を有し強度が低下している。以上のように、加熱時間の経過と共に接着界面にS、Si濃度の落込み層が形成され、50%加硫（150℃、20分）の段階

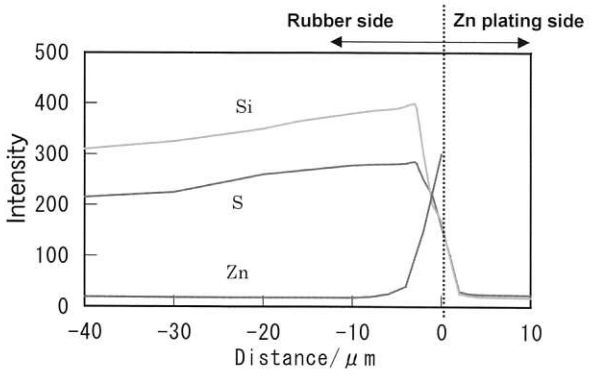


Recipe(phr):SBR100, HAF black 30, Silica 10, Stearic acid 2, ZnO 5, Oil 3, ADPAL 1, CBS 1.2, S 2, PbO 2, Resorcinol 2.5, HMMP 1.6.
Press condition <A>:150℃×10min, <B>:150℃×20min, <C>:150℃×40min

Figure 4 EPMA profiles of zinc cord/rubber adherents obtained with HRH adhesion system.

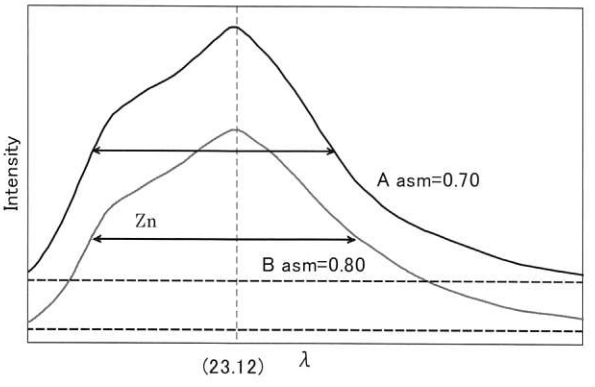
ですでに20μmに近い厚みのSとSi濃度の低い層が存在する。100%加硫時点にてもその層は維持されている。Pbはゴム層から界面に向かい減少傾向にあるがS, Siのような特徴的な変化は認められない。また、Znめっき層においても大きな強度段差がなく連続的な減少を示してる。以上のように接着界面にはSやSiの少ない層が形成されていることが分かる。もし、この層がレゾルシンとメチレンドナー成分からなるとすると、シリカの反応抑制効果がなくなり、両者が接着界面近傍で急激に樹脂化する機構が浮かび上がる。

一方、Figure 5はHRH接着システムを使用しない亜鉛/SBR接着物の接着界面近傍のEPMAによる線分析の結果を示す。試料は室温での90度はく離試験ではスポットラバーと界面破壊の混在状態の接着破壊面を示すものであるが、亜鉛めっき面に向かってS、Siはやや増加の傾向を示し、測定界面の直線性とビーム径の範囲内で界面に突き当っている。良好な接着を示すHRH



Recipe(phr): SBR100, HAF black 30, Silica 10, Stearic acid 2, ZnO 5, Oil 3, ADPAL 1, CBS 1.2, S 2,. Press condition:150℃x40min

Figure 5 EPMA profiles of zinc cord/rubber adherents obtained without HRH adhesion system.



Recipe(phr): SBR100, HAF black 30, Silica 10, Stearic acid 2, ZnO 5, Oil 3, ADPAL 1, CBS 1.2, S 2,. Press condition: 150℃x40min

Figure 6 EPMA Zn profiles of zinc cord/rubber adherents obtained without HRH adhesion system. A, B: Position shown on Figure 4C.

接着システム系で得られた接着物の特徴的な界面近傍のSとSiが低濃度となる層はHRH接着システムを使用しない場合存在しない。すなわち、HRH接着システムを使用した場合には界面層が生成しているが、使用しない場合には生成しないわけである。

SとSiが低濃度となる層の組成に関する情報をさらに得るために、Figure 4<C>に示すプロファイルの界面層の（A）点と通常のゴム層となる（B）点でのCKαスペクトルの測定を行った。結果をFigure 6に示す。λ=23.12の主ピークは一致するがS、Si濃度の低い層の炭素スペクトルは内部の層に比べショルダーピーク（α, β）の張り出しが大きくなっている。主ピークに対する比対称性指数（β／α）は（A）点で0.70、（B）点で0.80となり、（A）点は（B）点より低く、π電子成分の多い炭素からなる化合物で構成されていることが分かる。すなわち、同じゴム成分のみではなく、レゾルシンのようなπ電子成分の存在を示している。この結果はレゾルシンとメチレンドナー成分が接着界面に拡散してシリカの影響が少なくなるゴムと金属の界面で樹脂化して、補強層を形成していることを示す。樹脂化した界面層は補強層としての役割を持ち、同時に補強層を介在して金属とゴムの接着強度を高めるのに有効に作用していることが予測される。金属とゴムの接着に都合のいい界面構造がHRH接着システムでは加硫接着の過程で生成していたことになる。

以上のように、HRH接着システムの主要成分の役割が明らかになったが、HRH接着システムの全容を解明するためにはさらに加硫剤、加硫促進剤及び鉛酸化物などいくつかの配合剤の寄与についても解明されねばならないが、これらについては別途報告する予定である。

4. 結　論

HRH接着システムを用いる亜鉛コードとSBRの加硫接着における樹脂成分となるメチレンドナー化合物、メチレンアクセプター化合物及びシリカの役割を研究し以下のことが明らかとなった。

メチレンドナー及びメチレンアクセプターとしての能力が高いものほど、Zn/SBR接着物の接着強度は増加した。SBRゴム中のメチレンドナーとメチレンアクセプターは加硫接着中にZnとSBRの接着界面に移行し、樹脂化して補強層を形成することが接着物のEPMA分析から解明され、この補強層の生成が接着強度を高める作用をすると考えた。SBRゴム中ではシリカが存在するため、メチレンドナーとメチレンアクセプターの樹脂化が抑制されることが、モデル反応により解明された。EPMA分析から接着界面ではシリカ濃度が減少するため、メチレンドナーとメチレンアクセプターが樹脂化すると考えた。樹脂化層はZn/SBR間での補強層

としての役割と同時に、Zn/SBR間での界面結合の生成の役割も担うと予測される。メチレンアクセプターとして使用されるレゾルシンはPbOと反応して$C_6H_4O_3Pb_2$なる組成の化合物を形成して、接着界面に移行することがモデル反応から確かめられ、鉛キャリヤーとしても作用することが推定された。

Reference

1) van Ooij, W. J. : *Surf. Technol.*, **6**, 1 (1977)
2) van Ooij, W. J. : *Rubber Chem. Technol.*, **52**, 605 (1979)
3) Ayerst, R. C. and Rodger, E. R. : *Rubber Chem.Technol.*, **45**, 1497 (1972)
4) Rutz. L. R. : *Plast. Kautsch.*, **24**, 705(1977)
5) Ashida, M., Fukumoto,T. and Watanabe, T. : *Nippon Gomu Kyoukaishi* **50**, 807 (1977)
6) Ashida, M.: *Nippon Gomu Kyoukaishi* **57**, 501 (1984)
7) Albrecht, L. D. : *kautsch Gummi Kunstst*, **25**, 531 (1971)
8) Seo, G. : *Adhes. Sci. Technol.*, **11**, 1433 (1994)
9) Mori, K. : In "Gomu Industry Binran (4th ed)", Nippon Gomu Kyokai Ed., Nippon Gomu Kyokai, Tokyo, p.128, (1994)
10) Mori, K : *Surface Technol.*, **51**, 276 (2000)

日本語表記参考文献

5) 芦田道夫、福本隆洋、渡辺貞三：日本ゴム協会誌、**50**、807(1977)
6) 芦田道夫：日本ゴム協会誌、**57**、501(1984)
9) 森　邦夫：ゴム工業便覧(第4版)、日本ゴム協会編、日本ゴム協会、東京、p.128、(1994)
10) 森　邦夫：表面技術、**51**、276 (2000)

[付記]
発表誌：日本ゴム協会誌 80巻 第3号(2007) p77-82.

塩山　務
Tsutomu SHIOYAMA
1976年　入社
運搬建設資材事業部

研究論文

磁気粘性流体を利用した鏡面創成技術の開発

Study of Mirror Finishing Process Using Magneto-rheological Fluid

佐藤　隆史[*1]
Takashi SATO

山口　ひとみ[*2]
Hitomi YAMAGUCHI

進村　武男[*1]
Takeo SHINMURA

岡崎　貴彦[*3]
Takahiko OKAZAKI

Abstract. This research studied the internal magnetic field assisted finishing with MRF (Magneto-rheological Fluid)-based slurry for copper tubes. MRF-based slurry that included diamond abrasives was applied to the internal magnetic field assisted finishing for copper tubes and the finishing characteristics were studied. The results showed that the exciting current and the abrasive size changed the finishing characteristics of MRF-based slurry. This finishing process creates a smooth mirror finished surface with few directional cutting marks on the surface of the copper tube.

1. 緒　言

昨今の超精密切削加工技術の発展は目覚ましく、高精度加工を要求される電子機器や光学機器部品の製造技術として用いられている。ナノメートル単位の位置制御システムにより複雑な自由曲面を高い形状精度で加工することが実現できても、光学部品や金型仕上げ面精度への要求はさらに厳しくなっていることから、微小な切削痕を除去し得る新たな鏡面創成技術の開発が切望されている。

これまで筆者らは、内径1 mm以下の毛細管内面の精密仕上げ技術の開発を目的に、磁気粘性流体（MRF）に砥粒を混合して分散安定化処理を施したMRFベーススラリーを開発し、SUS304ステンレス鋼円管を対象に加工特性の解明を行ってきた[4) 5)]。その結果、MRFベーススラリーの細管内面研磨への応用性を確認したことに加え、MRFベーススラリーによると、従来用いられてきた酸化アルミニウム（WA）砥粒と鉄粉の焼結体である磁性砥粒よりも平滑な表面（0.01 μm*Ra*）が得られることを明らかにした。また、MRFベーススラリーは流動性をもつため、加工域においては常に鉄粉粒子および砥粒が入れ替わり、断続的な微小切込みの集積により構成された方向性の弱い加工面が得られることも明らかにした。しかし、MRFベーススラリーの動的挙動と加工特性、および加工条件の詳細な関係については不明のままとなっていた。

MRFベーススラリーの動的挙動はスラリーの作用磁力により変化し、磁力は加工部の磁場強度によって調整することができる。磁場発生源として電磁コイルを用いれば、電流値によって磁場強度を容易に調整することができる。このため、本研究では電磁コイルを用いた実験装置を用いて、MRFベーススラリーの動的挙動と加工特性の関係を検討した。そして、MRFベーススラリーの鏡面創成機構について考察した。銅材は光学部品や金型材としても利用されることから、工作物は銅とした。また、従来、円管内面の研磨実験によりMRFベーススラリーの加工性能を調べていることから、本報においても円管内面を加工対象として検討した。

2. 加　工　原　理

図1に、MRFベーススラリーによる内面磁気研磨の加工原理の概略図を示す。図1(a)は、加工部における鉄粉粒子と砥粒の様子を推定した模式図である。鉄粉粒子が磁化されて磁極に磁気吸引される際、砥粒を巻き込み加工面に押し付ける。このとき、工作物に回転と振動を与えると、砥粒と加工面の間に相対運動が発生し、加工作用が得られる。砥粒の切込み深さは、砥粒径と鉄粉粒子の磁力Fに依存する。鉄粉粒子に作用する磁力Fは、次式で表される。

$$F = V\chi H \cdot gradH \qquad (1)$$

*1 宇都宮大学大学院
*2 宇都宮大学（現在はUniversity of Florida）
*3 R&Dセンター

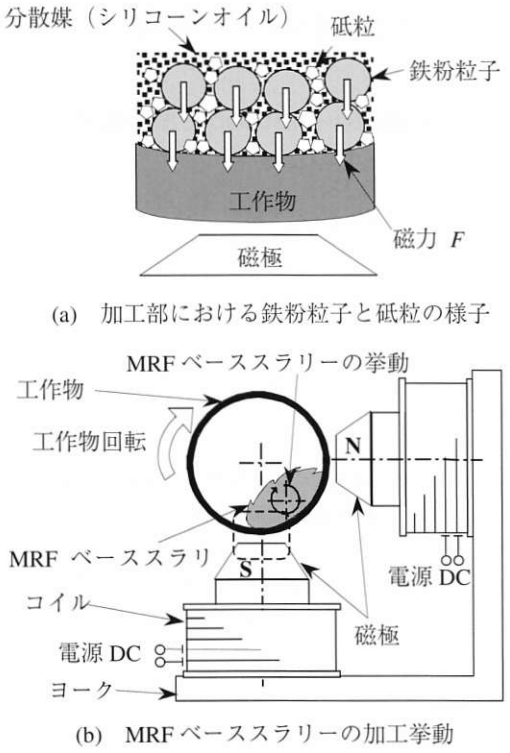


図1 加工原理の模式図

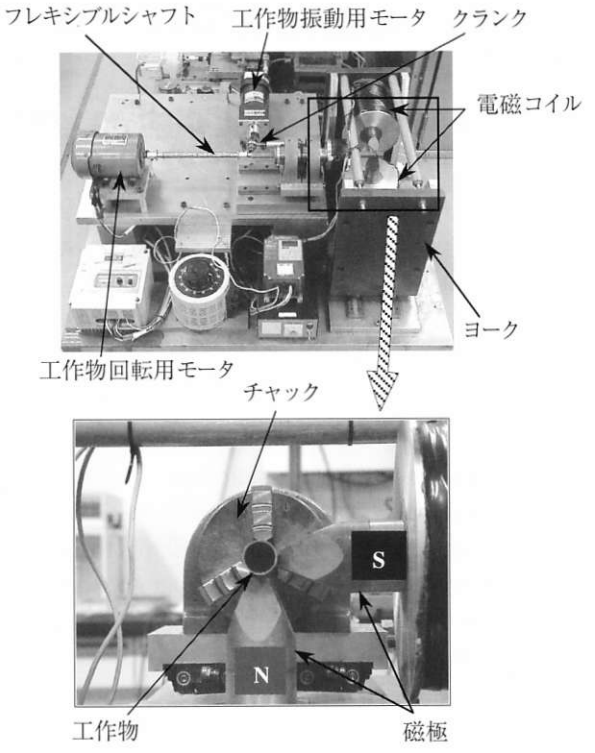


図2 実験装置の外観写真

ここで、Vは鉄粉粒子の体積、χは鉄粉粒子の磁化率、Hは磁場強度、$gradH$は磁場勾配である。

加工中のMRFベーススラリーは、工作物から研磨抵抗を受けて図1(b)に示すような動的挙動を示す。この現象は自生かく拌現象と呼ばれ[4]、断続的な微小切込みを工作物表面に形成する。また、MRFベーススラリー中の摩滅した砥粒の排出と切れ刃のある砥粒の供給が活発に行われるため、加工作用を促進する効果がある。

3. 実 験 装 置

図2に、実験装置の外観写真を示す。工作物はチャックに保持され工作物回転用モータにより回転し、同時に、振動用モータによりクランク機構を介して軸方向に振動する。磁場発生源に一組の電磁コイル（ϕ1 mm×4500巻）を用い、電流値によって加工部の磁場強度を変化させた。両コイルの磁極間距離を短縮し、加工部の磁場強度とその変化率を増大させるために90°の角度で配置し[6]、ヨークを介して閉磁気回路を形成した。

図3に、励磁電流と加工部の磁束密度の関係を示す。電流値が高いほど加工部の磁束密度Bが増大する。Nd-Fe-Bレアアース永久磁石を利用した内面磁気研磨では加工部の磁束密度Bは0.5 T程度であり[4]、本装置では励磁電流0.5 A程度で同様の磁束密度Bが加工部に得られることになる。

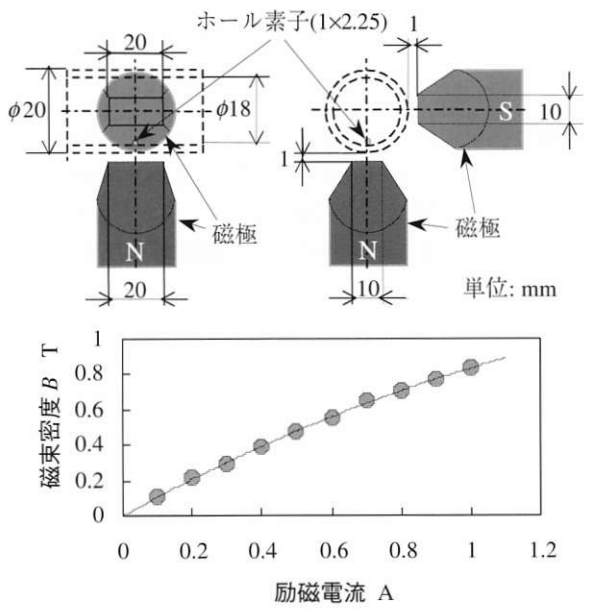


図3 励磁電流と加工部の磁束密度の関係

4. MRFベーススラリーの動的挙動と加工特性

4.1 MRFベーススラリーの動的挙動に関する検討

MRFベーススラリーの磁力を低下させると、砥粒切込み深さの低減による加工面の平滑化が期待される。しかし、円管周方向に動的挙動を示すスラリーには工

作物表面から磁力、遠心力、重力に起因する摩擦力を受けるため、極端な磁力の低下は工作物とスラリーの伴回り現象を誘発し、加工不能に陥らせる[4]。磁力は電磁コイルの電流値により、遠心力は工作物回転数により左右される因子であることから、本報ではスラリーの動的挙動と励磁電流、工作物回転数の関係について調べることにした。

初めに、電磁コイルの電流値を0.1～1.0 Aに変化させ、工作物回転数225～1800 min^{-1}におけるMRFベーススラリーの挙動を目視にて観察した。表1に実験条件を示す。表2に、MRFベーススラリーの物性値を示す。なお、粘度は回転粘度計により25℃、116.8 s^{-1}の環境下における測定値である。励磁電流0.4 A以上では、いずれの工作物回転数においてもスラリーは工作物と伴回りすることなく加工部に保持された。一方、励磁電流0.3 Aでは工作物回転数1575 min^{-1}、0.2 Aでは900 min-1以上においてスラリーは工作物と伴回りしてしまい、加工不能に陥った。励磁電流0.1 Aでは、工作物回転数に拘わらずスラリーは加工部に保持されず、伴回りしてしまった。

MRFベーススラリーに作用する磁力、重力の工作物接線方向成分が工作物内面との摩擦力に対して小さい場合、すなわち遠心力が大きい場合にスラリーは伴回り現象を示すことになる。励磁電流を低くするとスラリーの磁力、粘度がともに低くなるため、かく拌挙動が活発となって遠心力が増大する。このとき、工作物回転数を増大するとスラリーにはさらに大きな遠心力が作用し、伴回りしやすい状態に陥ってしまうものと考えられる。以上により、励磁電流が低い場合、MRFベーススラリーには磁力よりも遠心力が作用するようになり、工作物との伴回り現象が誘発されやすい状況に陥ってしまうことがわかった。

次に、励磁電流と工作物回転数がMRFベーススラリー回転数に及ぼす影響を調べた。図4に、MRFベーススラリー回転数の測定状況の外観写真を示す。アルミニウム合金棒（A2017 ϕ4×80 mm）をデジタルタコメータの接触測定用アダプタに装着し、デジタルタコメータ本体をジグにより三脚に固定した。アルミニウム合金棒を加工中のスラリーの回転中心付近に挿入すると、アルミニウム合金棒はスラリーから摩擦力を受けて回転する。このときのアルミニウム合金棒回転数を測定することにより、MRFベーススラリー回転数を検出した。

図5に、各励磁電流における工作物回転数とMRFベーススラリー回転数の関係を示す。工作物回転数が900 min^{-1}より高い条件では、加工中のスラリーにアルミニウム合金棒を挿入するとスラリーの分散媒（シリ

表1　実験条件

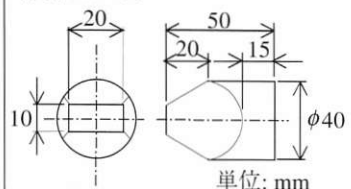
工作物	C1220 りん脱酸銅管 ϕ19.05×ϕ17.05×100 mm
MRFベーススラリー供給量	0.5 mL
工作物回転数	225，450，900，1800 min^{-1}
工作物振動	振動数：0.8 Hz，振幅：5 mm
磁極	材質: SS400  単位: mm
励磁電流	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0 A
工作物-磁極間隙	1 mm

表2　MRFベーススラリーの物性値

鉄粉濃度 vol%	30
ダイヤモンド砥粒濃度 wt%*	30
ダイヤモンド砥粒径 μm	0-1/2 μm
粘度 Pa·s**	0.13

*砥粒／液体比　**25℃, 166.8 s^{-1}

図4　MRFベーススラリー回転数測定の外観写真

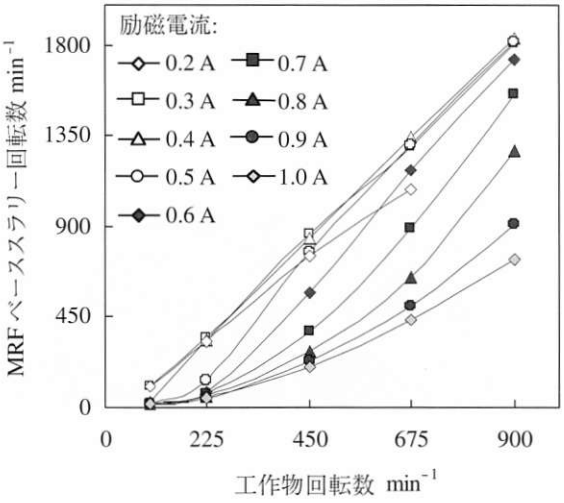


図5　工作物回転数とMRFベーススラリー回転数の関係

コーンオイル）が飛散し、スラリー粘度が大きく変化してしまった。このことが測定結果に及ぼす影響を考慮し、測定は工作物回転数900 min^{-1} 以下で行った。

図5より、励磁電流が低いほどMRFベーススラリー回転数は高い値を示した。これは、励磁電流が低いとスラリーの磁力が低い値を示し、遠心力の作用を受けて回転しやすくなったことによるものと考えられる。また、工作物回転数が高いほどスラリー回転数が増加しており、その増加割合は励磁電流が低いほど大きくなった。そして、図6に示すように、工作物回転数が大きいほどスラリーは遠心力の影響をより大きく受けるため、その回転半径が大きくなることが確認されている。このことにも拘らず、図5では高い工作物回転数においてもスラリー回転数は高い値を示し、その工作物回転数の増大割合以上に増大している。したがって、工作物回転数が増加するほど、スラリーのかく拌挙動は遠心力の影響を受けて活発化し、スラリーの回転半径が増大する。このため、工作物周速度とスラリー周速度の差、すなわち相対速度が低くなるものと考えられる。 励磁電流0.2 Aにおいては、工作物回転数を225 min^{-1} 以上において励磁電流0.5 Aの条件以下の低速回転となった。これは、スラリーの磁力が低いために遠心力の影響を受けて一部不安定挙動を示したためである。

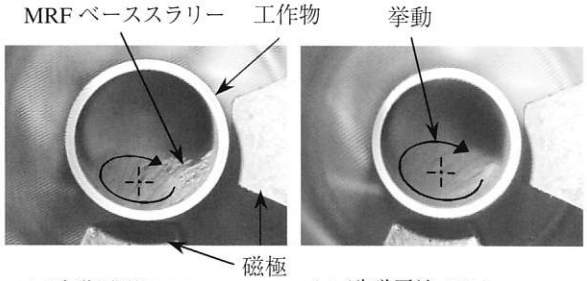
以上により、MRFベーススラリーの動的挙動は励磁電流および工作物回転数により変化し、加工速度となる工作物とスラリーの相対速度に影響を及ぼすことが明らかになった。次に、これらの事象と加工特性の関係を実験的に調べることにした。

4.2 工作物回転数が加工特性に及ぼす影響

MRFベーススラリーのかく拌挙動の相違が加工特性に及ぼす影響を調べた。実験条件は表1に、MRFベーススラリーの物性値は表2に示した通りである。かく拌挙動の状態以外の影響を少なくするために励磁電流を0.5 Aとし、かく拌挙動の状態の異なる工作物回転数450 min^{-1} と1800 min^{-1} において、累積工作物回転数を同様にして比較を行った。研磨実験は、累積工作物回転数9000回毎に工作物を実験装置から取り出し、アセトン浴中で超音波洗浄を行い、その後、触針式表面粗さ測定機SV-624（ミツトヨ製）で表面粗さ*Ra*の測定を行った。加工量は、電子上皿天秤AEG‐80SM型（島津製作所製、最小秤量単位：0.01 mg）を用いて測定し、加工前後の工作物重量差の値とした。これらを繰り返し、表面粗さの時間的変化が見られなくなった時点で研磨実験を終了した。

図7に、表面粗さおよび加工量と累積工作物回転数の関係を示す。工作物回転数1800 min^{-1} の場合よりも450 min^{-1} の場合の方が、同じ累積工作物回転数では表面粗さの平滑化速度は高く、加工量も大きな値が得られた。前述したように、工作物回転数450 min^{-1} の場合はスラリー挙動が抑制されて、1800 min^{-1} の場合に比べてスラリーと工作物の相対速度が高くなる。したがって、高い除去加工作用が得られ、表面の平滑化が促進されたものと推察される。なお、MRFベーススラリー回転数が低い場合、スラリーに作用する遠心力が低下して、砥粒の切込み深さも低減され、微小切込みに基づく平滑な加工面が形成されることが予想される。図8に、(a)工作物回転数450 min-1、(b)工作物回転数1800 min^{-1} における加工面の3次元形状を示す。測定は光干渉式表面粗さ計Wyko NT1100（Veeco製）によって行った。図8からも上述した内容を確認することができる。

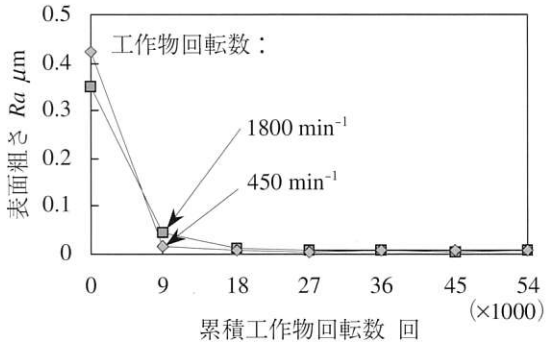
以上により、工作物回転数の低下はスラリーの工作物に対する相対速度を増加させるため、除去加工作用



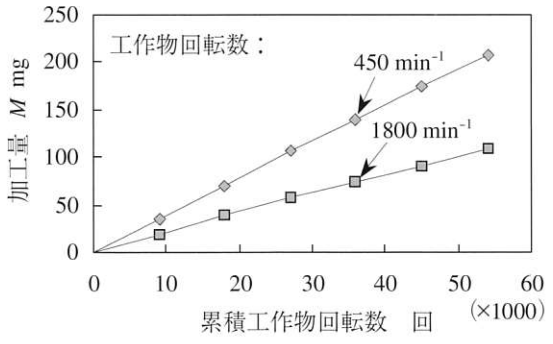
(a) 励磁電流 0.5 A
工作物回転数 450 min^{-1}

(b) 励磁電流 0.5 A
工作物回転数 1800 min^{-1}

図6 MRF ベーススラリーのかく拌挙動の様子

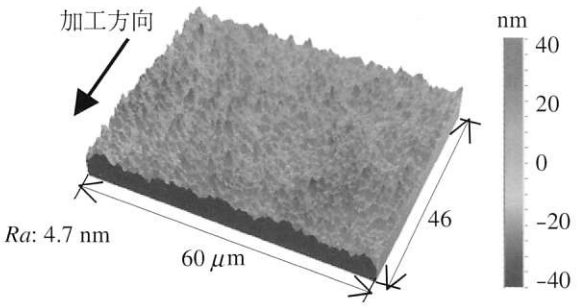


(a) 表面粗さと累積回転数の関係

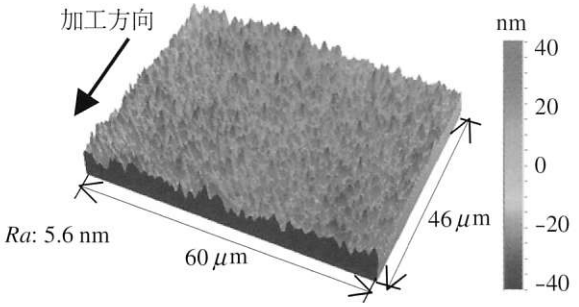


(b) 加工量と累積回転数の関係

図7 表面粗さおよび加工量と累積回転数の関係

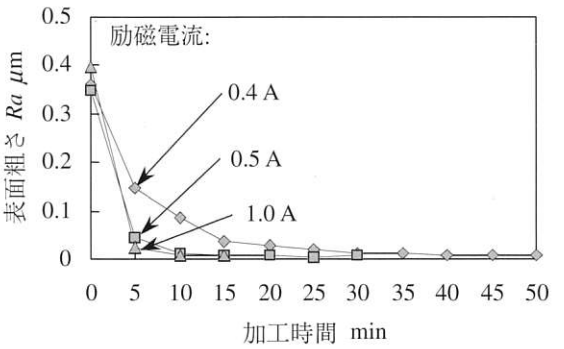


(a) 励磁電流 0.5 A，工作物回転数 450 min^{-1}
ダイヤモンド砥粒 0-1/2 μm，120 min 加工後

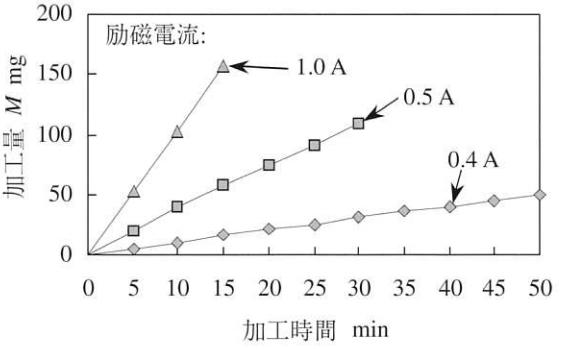


(b) 励磁電流 0.5 A，工作物回転数 1800 min^{-1}
ダイヤモンド砥粒 0-1/2 μm，30 min 加工後

図8　加工面の3次元形状



(a)　表面粗さの時間的変化



(b)　加工量の時間的変化

図9　各励磁電流における表面粗さと加工量の時間的変化

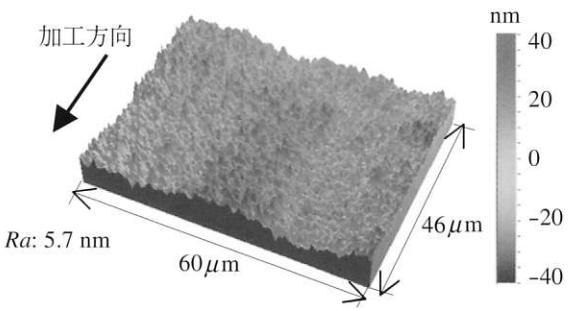
を促進する。さらに、スラリーに作用する遠心力を低下させるため、微小切込みに基づく平滑な加工面が形成されることがわかった。

4.3 励磁電流が加工特性に及ぼす影響

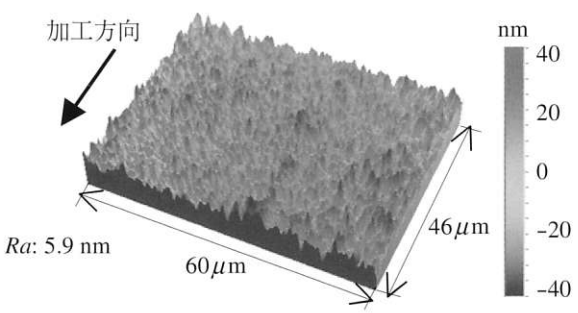
電磁コイルの励磁電流が加工特性に及ぼす影響について調べた。工作物回転数 1800 min^{-1}、励磁電流 0.4、0.5、1.0 A とし、他の条件は表1、表2に従った。

図9に、表面粗さと加工量の時間的変化を示す。励磁電流が高いほど迅速に平滑化が進行し、加工量も増大した。これは、励磁電流の増加によりスラリーの磁力および粘度が増加し、砥粒切込み深さおよびスラリーと加工面間の相対速度が増大したことで、高い除去加工作用が得られたためと考えられる。

図10に、(a)励磁電流0.4 A、(b) 励磁電流1.0 Aにおける加工面の3次元形状を示す。励磁電流0.5 Aによる加工面は図8(b)に示した。いずれの励磁電流においても、6 nm*Ra*程度の鏡面が得られたが、励磁電流が高いほど加工痕は僅かに大きく深いものであった。これは、前述したように励磁電流が高いほど磁力および粘度の増加により、砥粒切込み深さが増大したことによるものと考えられる。次に、各励磁電流における加工中の工作物の回転トルクを調べた。測定は図2に示した実験装置のフレキシブルシャフト部に、トルク変換器を取り付けて行った。図11に、各励磁電流と工作物に作用するトルクの関係を示す。励磁電流が増加するほど、ト



(a) 励磁電流 0.4 A，工作物回転数 1800 min^{-1}
ダイヤモンド砥粒 0-1/2 μm，50 min 加工後



(b) 励磁電流 1.0 A，工作物回転数 1800 min^{-1}
ダイヤモンド砥粒 0-1/2 μm，15 min 加工後

図10　加工面の3次元形状

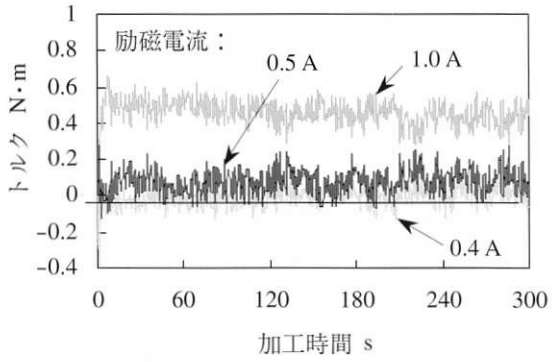


図11　各励磁電流と工作物に作用するトルクの関係

ルクが増大している。これは、励磁電流が高いほど磁力および粘度の増加に起因する高い摩擦力がスラリーと工作物表面の間に生じたためであると考えられる。

以上のことから、励磁電流の低下によりスラリーの工作物に対する相対速度は低下し、除去加工能率が低下するが、最終的には砥粒の微少切込みに基づく加工面が形成されることがわかった。

5. 砥粒径が加工特性に及ぼす影響

砥粒切込み深さを左右する因子として、MRFベーススラリーに含有する砥粒径が挙げられる。MRFベーススラリーに含有される砥粒は、鉄粉粒子により加工力を付与されるために鉄粉粒子よりも小径である必要があることから[4]、この条件を満たす範囲において砥粒径を小さくすることが平滑な鏡面創成には得策といえる。そこで、ダイヤモンド砥粒径が0-0.1 μm、0-1/4 μm、0-1/2 μmの3種類のスラリーを用いて、砥粒径が加工特性に及ぼす影響について調べることにした。

表1の実験条件において、工作物回転数1800 min^{-1}、励磁電流0.5 Aで研磨実験を行った。表3に、実験に用いたMRFベーススラリーの詳細を示す。図12に、各ダイヤモンド砥粒径における表面粗さと加工量を示す。ダイヤモンド砥粒径が大きいほど平滑化速度は高く、加工量も大きな値を示した。ダイヤモンド砥粒径が0-1/4 μm、0-1/2 μmのスラリーにおいては鏡面が得られたが、砥粒径が0-0.1 μmのスラリーにおいては30分加工した時点においても鏡面は得られず、その時点で実験を終了した。また、これは、ダイヤモンド砥粒径が

表3　MRFベーススラリーの物性値

MRFベーススラリー	(i)	(ii)	(iii)
鉄粉濃度 vol%	30	30	30
ダイヤモンド砥粒濃度 wt%*	30	30	30
ダイヤモンド砥粒径 μm	0-0.1	0-1/4	0-1/2
粘度 Pa·s**	0.54	0.25	0.13

*砥粒／液体比　　**25℃, 166.8 s^{-1}

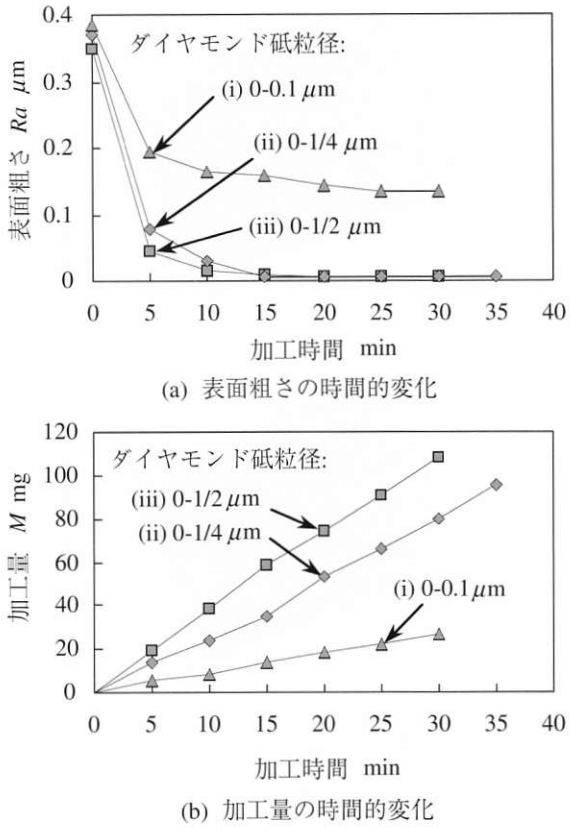


図12　各砥粒径における表面粗さと加工量の時間的変化

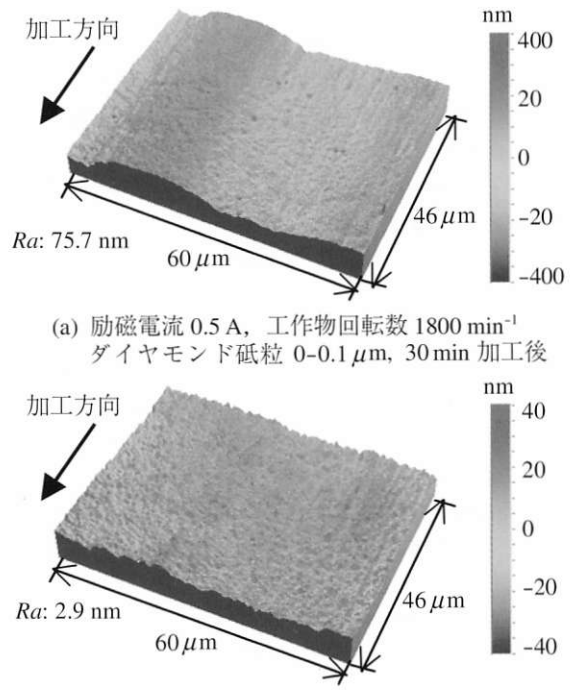


図13　加工面の3次元形状

大きいほど加工面への砥粒切込み深さが増大し、高い除去加工作用が得られたことによるものと考えられる。

図13に加工面の3次元形状を示す。ダイヤモンド砥粒径が0-1/2 μmのスラリーによる加工面は図8(b)に示した。図13(a)ダイヤモンド砥粒が0-0.1 μmのスラリーによる加工面には、波長の大きな凹凸が観察された。これは、砥粒切込み深さが低減されたために、当初から存在する比較的波長の大きな凹凸を除去しきれなかったためであると推察される。なお、波長の大きな凹凸を除去するように前処理を施したのち、ダイヤモンド砥粒径が0-0.1 μmのスラリーで研磨を行ったところ、初期粗さ5 nm*Ra*を1.5 nm*Ra*に平滑化できることを確認した。

以上のことから、砥粒の小径化により砥粒切込み深さは低減され、平滑化速度は低下するがより平滑な面が得られることがわかった。また、当初から加工面に存在する大きなうねり成分の除去は小径砥粒では困難であるが、当初からうねり成分の少ない表面に対しては、小径砥粒により高い平滑度を有する鏡面の創成が可能であることを示した。

6. 結　言

本研究で得られた成果を要約すると、以下のようになる。

1) 工作物回転数が低いほど、MRFベーススラリーの遠心力は低くなり、スラリーのかく拌挙動は抑制される。その結果、スラリーの加工面に対する相対速度が増大し、加工作用を促進する。また、スラリーに作用する遠心力の低下は砥粒切込み深さを低減し、微小切込みに基づく平滑な加工面が形成されることを明らかにした。
2) 励磁電流が低いほど、MRFベーススラリーの磁力および粘度が低下するため、スラリーは遠心力の影響を受けるようになり、かく拌挙動も活発となる。その結果、スラリーの加工面に対する相対速度は低減され、能率的な除去加工作用が得られ難くなる。しかし、砥粒切込み深さは低減されるため、最終的には砥粒の微小切込みに基づく平滑な加工面が形成されることがわかった。
3) 砥粒の小径化は、加工面への砥粒切込み深さを低減するために波長の長いうねり成分の除去は困難であるが、鏡面創成には有用であることを明らかにした。

7. 参 考 文 献

1) Don Golini and Stephen Jacobs, William Kordonski, Poul Dumas: Precision optics fabrication using magnetorheological finishing, Critical Reviews, CR67, (1997) 251.
2) H. Ohmori, S. Yin, W. Lin, and Y. Uehara: Study on ultraprecision synergistic finishing process of ELID-grinding and MRF –1stReprot: Trial fabrication of glass lens–, J. Jpn. Soc. Abras. Technol., 50, 1 (2006) pp. 39 (in Japanese).
3) C. H. Lim, W. B. Kim, S. H. Lee, J. I. Lee, Y. J. Kim, and S. J. Lee: Surface Polishing of Three Dimensional Micro Structures, Micro Electro Mechanical Systems, 17th IEEE Int. Conf. MEMS, (2004) 709.
4) H. Yamaguchi, T. Shinmura, T. Sato, A. Taniguchi, and T. Tomura: Study of Surface finishing Process using Magneto-rheological Fluid (MRF) –Development of MRF-based Slurry and Its Performance–, J. Jpn. Soc. Precis. Eng., 72, 1 (2006) 100 (in Japanese).
5) T. Sato, H. Yamaguchi, T. Shinmura, and T. Okazaki: Study of Internal Finishing Process using Magneto-rheological Fluid (MRF) – Effects of the Finishing Behavior of MRF-based slurry on Finishing Characteristics –, J. Jpn. Soc. Precis. Eng., 72, 11 (2006) 1402 (in Japanese).
6) H. Yamaguchi, T. Shinmura, and K. Kuga: New Internal Finishing Process Applying Magnetic Abrasive Machining –5th Report, Effects of Magnetic Abrasive Behavior on Finishing Characteristics–, Trans. Jpn. Soc. Mech.Eng., C, 62, 600 (1996) 373 (in Japanese).

[付記]
発表誌:砥粒加工学会誌、51巻 4号(2007)、 pp238-243.

岡崎　貴彦
Takahiko OKAZAKI
1991年　入社
R&Dセンター

研究論文

Reference Materials for Weathering Test of Rubber Products

ゴム材料の耐候性評価用標準試料

Noriaki WADA[*1]　和田　法明

Yoshiaki AIMURA[*2]　相村　義昭

ゴム材料の耐候性を評価するときの標準試料配合を確立するために、10種類のゴム配合（SBR, EPDM, CR, NR系）を、世界各地で5年間屋外暴露するとともに、人工光源による暴露試験も実施し、各種特性を評価して相関性を検討した。その結果、系時変化が直線的で、相関性の解析より耐候性寿命予測が容易な評価特性と標準試料を提案した。現在JIS規格、ISO規格にも採用されている。

1. INTRODUCTION

Rubber parts have been used in many application in, for example, the automotive, building and electrical industries throughout the world. It is very useful to estimate the life of rubber products under all conditions such as temperature, humidity, ultraviolet radiation and rain for product assurance purposes.

It is well known that a typical evaluation method for life estimation of rubber products is a weathering test as specified in ISO 4665. In this evaluation, it would be very convenient if we could use "a reference material" as comparison. A suitable rubber reference material for weathering evaluation has to satisfy the following conditions.

(a) There is a directly proportional relation between property change and exposure time (or radiant exposure).

(b) The degradation mechanism is similar in both natural exposure tests and exposure tests with laboratory light sources.

(c) The rubber materials are easily obtained, processed and prepared throughout the world.

The object of our evaluation is the proposition of new rubber reference materials for weathering evaluation.

[*1] R&Dセンター
[*2] 日本ゼオン株式会社

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materials

In this evaluation, four typical rubbers (SBR, EPDM, CR, NR) were selected and the formulations were varied in order to clarify the effects of type of filler and antioxidant. Finally, the following ten compounds were prepared.

(a) S-1: SBR/Carbon black/antioxidant-1

(b) S-2: SBR/Carbon black/antioxidant-2

Table 1
Compound formulation of SBR

	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
SBR 1502	100	100	100	100	100
N330 carbon black	50	50	50		
Dixie clay				80	80
Zinc oxide	3	3	3	5	5
Stearic acid	1	1	1	1	1
Antioxidant 6PPD [a]	2				
Antioxidant TMQ [b]	2				
Antioxidant wax	1	1		1	
Antioxidant MBMTB [c]		2		2	
Antioxidant SP [d]		2		2	
Accelerator TBBS [e]	1	1	1		
Accelerator MBTS [f]				1	1
Sulfur	1.75	1.75	1.75	1	1

[a] N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine
[b] Polymer of 2,2,4-triimethyl-1,2-dihydroquinoline
[c] 2,2'-methylene-bis-(4-methyl-6-tert-butylphenol)
[d] Styrenated phenol
[e] N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulfenamide
[f] Dibenzothiazyl disulfide

(c) S-3: SBR/Carbon black/no antioxidant
(d) S-4: SBR/Clay / antioxidant-1
(e) S-5: SBR/Clay/no antioxidant
(f) E-1: EPDM/Carbon black/antioxidant
(g) E-4: EPDM/Clay/antioxidant
(h) C-1: CR/Carbon black/antioxidant
(i) C-3: CR/Carbon black/no antioxidant
(j) N-1: NR/Carbon black/antioxidant

The details of the rubber compounds used are shown in Tables 1, 2, 3 and 4. The rubber compounds were cured under appropriate conditions. The 2mm sheets were molded to evaluate variety of properties.

Table 2
Compound formulation of EPDM

	E-1	E-4
EPDM (JSR EP24)	100	100
N330 carbon black	80	
Dixie clay		100
Zinc oxide	5	5
Stearic acid	1	1
Paraffinic oil (PW-90)	50	20
Antioxidant TMQ [a]	2	
Antioxidant wax		2
Antioxidant MBMTB [b]		2
Antioxidant SP [c]		2
Accelerator TMTD [d]	1	
Accelerator TMTM [e]		1.5
Accelerator MBT [f]	0.5	0.5
Accelerator ZnBDC [g]		1
Sulfur	1.5	1.5

[a] Polymer of 2,2,4-triimethyl-1,2-dihydroquinoline
[b] 2,2'-methylene-bis-(4-methyl-6-tert-butylphenol)
[c] Styrenated phenol
[d] Tetramethylthiuram disulfide
[e] Tetramethylthiuram monosulfide
[f] 2-mercaptobenzothazole
[g] Zinc di-n-butyl dithiocarbamate

Table 3
Compound formulation of CR

	C-1	C-3
ECR (sulfur modified type)	100	100
N330 carbon black	25	25
Zinc oxide	5	5
Magnesium oxide	4	4
Stearic acid	0.5	0.5
Antioxidant 6PPD [a]	2	

[a] N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine

Table 4
Compound formulation of NR

	N-1
ENR (RSS#1)	100
N330 carbon black	35
Zinc oxide	5
Stearic acid	2
Antioxidant 6PPD [a]	2
Antioxidant TMQ [b]	2
Antioxidant wax	1
Accelerator TBBS [c]	0.7
Sulfur	2.25

[a] N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine
[b] Polymer of 2,2,4-triimethyl-1,2-dihydroquinoline
[c] N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulfonamide

2.2. Test conditions

2.2.1. Natural exposure test

The natural exposure conditions of weathering used in this evaluation are is shown in Table 5.

2.2.2. Xenon arc test

The test conditions for xenon arc artificial weathering tests are shown in Table 6.

2.2.3. Open-flame carbon-arc test

The test conditions for carbon arc artificial weathering tests are shown in Table 7.

2.3. Evaluation method

2.3.1. Tensile stress-strain properties

Tensile stress-strain properties were evaluated in accordance with ISO 37 using Type 1A dumbbell test pieces with 2 mm thickness. The test results are reported as percentage change in each physical property according to the following equation:

$$\Delta P = \frac{P}{P_x} \times 100$$

where P is initial property, P_x is property after weathering.

2.3.2. Hardness change

The hardness (IRHD) were evaluated were evaluated in accordance with ISO 48.

The test results are according to the following equation:

$$\Delta P = P - P_x$$

where P is initial hardness, P_x is hardness after weathering.

Table 5
Condition of natural exposure weathering

Location	Latitude	Exposure angle south	Exposure starting date	Integrated radiant exposure (MJ/m^2) [b]		Mean ambient temperature (°C) [d]	Mean relative humidity (%) [d]
				UV [c]	Total		
Sapporo (Japan)	43°03′N.L.	South 45°	1999.10.4	922.5	15375.4	8.8	70.9
Choshi (Japan)	35°43′N.L.	South 30°	1999.10.1	946.4	16992.5	14.7	77.2
Miyakojima (Japan)	24°44′N.L.	South 20°	1999.10.1	1133.5	17044.5	23.8	79.0
Serpong (Indonesia)	6°15′S.L.	South 5° [a] (North)	1999.10.1	770	17159.0	26.4	89.9
Phoenix (USA)	33°54′N.L.	South 34°	1999.9.29	1227.5	25751.7	22.9	31.2

[a] For Indonesia south 5° from Nov. to Feb. and North 5° from Mar. to Oct.
[b] Total value from Oct. 1999 to Sep. 2002
[c] Wave-length band: 300 to 400 nm before Dec. 2000 and 315 to 400 nm after Jan. 2000 for Choshi, 300 to 400 nm for Miyakojima and 295 to 385 nm for Serpong and Phoenix.
[d] Mean values between Oct. 1999 to Sep. 2002

Table 6
Condition of exposure to intensified xenon-arc

Light	Xenon lamp
Filters	Inner: Quarz, Outer: borosilicate 275
Irradiance	60 W/m^2 (at 300 to 400 nm)
Black panel temperature	63 ± 3 °C
Spray cycle	102 min dry and 18 min water spray

Table 7
Coondition of exposure to open-flame carbon-arc

Light	Open-flame carbon-arc lamp
Filters	Type-1
Irradiance	255 W/m^2 (at 300 to 700 nm)
Black panel temperature	63 ± 3 °C
Spray cycle	102 min dry and 18 min water spray

2.3.3. Colour change

The colour difference ΔE^*_{ab} was determined according to ISO 7724.

2.3.4. Gloss change

The specular gloss with 60-deg geometry of test pieces before and after exposures was measured according to ISO 2813. The change in gloss was expressed of the initial value and the value after weathering by the following equation:

$$\frac{Gs}{Gs_x} \times 100$$

where Gs is initial superficial gloss, Gs_x is superficial gloss after weathering.

2.3.5. Crosslink density

Crosslink density of test pieces was measured by the solvent swell method. Each test piece was immersed in toluene for 72 hours at room temperature.

The crosslink density was determined by the following Flory-Rehner equation:

$$\upsilon = -\frac{1}{V}\left[\frac{\ln(1-VR)+VR+\mu VR^2}{VR^{1/3}-VR/2}\right]$$

where υ is crosslink density (mol/cm^3), VR is volume fraction of polymer after immersion in toluene, V is molecular volume of toluene (cm^3/mol), μ is interaction coefficient between rubber and toluene.

In this equation, the following μ values [1] were used :

SBR: 0.1320
CR: 0.3000
EPDM: 0.4900
NR: 0.3930

3. TEST RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Natural exposure tests

3.1.1. Degradation of NR

Figs. 1, 2 and 3 show exposure time dependence of elongation, hardness and 100% tensile modulus properties of NR sample at each location. These property changes showed typical hardening degradation, and the degradation rate was influenced by exposure conditions. In the severe conditions such as at Serpong and Phoenix where temperature and radiant exposure were higher, hardening degradation is faster than other more mild areas. The test results of colour change and superficial gloss change are shown in Figs. 4 and 5. According to these results, it becomes clear that these properties are not suitable for determining the degree of degradation because they increased for some samples and decreased for other samples with time of ageing, and they changed rapidly at a certain stage of exposure.

3.1.2. Degradation of SBR

Figs. 6, 7 and 8 show exposure time dependence of elongation, hardness and 100% tensile modulus properties of S-1 sample at each location. The tendency of property changes is almost the same as for NR. According to these results, it seems that both elongation change and modulus change are suitable properties for monitoring the degree of degradation of weathering. Fig. 9 shows the effect of antioxidant on degradation for exposure in Choshi, Japan. In this evaluation, there is no big difference between the 6PPD/TMDQ/Wax system and the MBMTB/SP/Wax system, but it is clear that the inclusion of antioxidant is very effective against degradation by weathering. Fig. 10 shows the effect of filler on degradation for exposure in Choshi, Japan. In this evaluation, the clay system shows faster degradation than the carbon black system. The degradation of the carbon black system occurred gradually over a long time.

3.1.3. Degradation of EPDM

Figs. 11 and 12 show exposure time dependence of elongation change and hardness change of sample E-1 at each location. In terms of elongation, the change in the initial stage of weathering is larger and it becomes stable at a later time. In the case of hardness, a clear tendency was not observed. Fig. 13

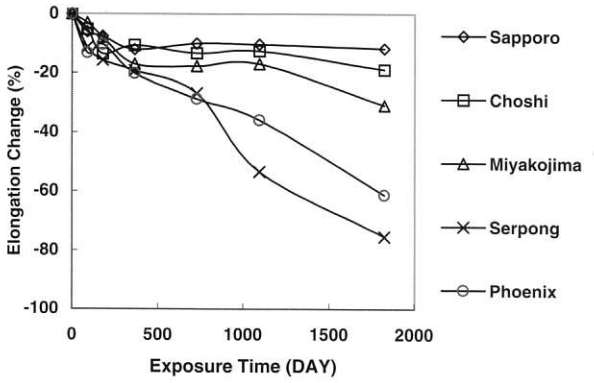


Fig. 1. Elongation change of NR

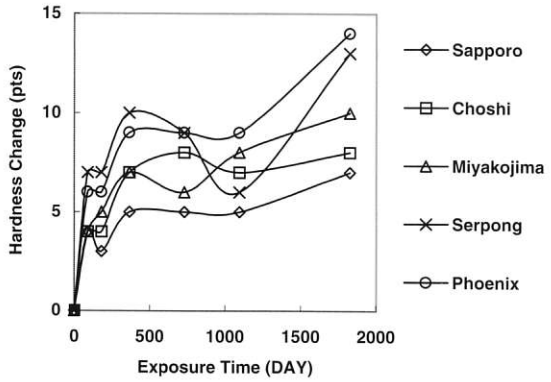


Fig. 2. Hardness change of NR

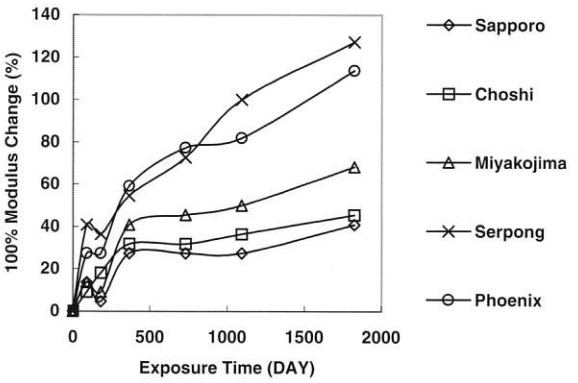


Fig. 3. Modulus change of NR

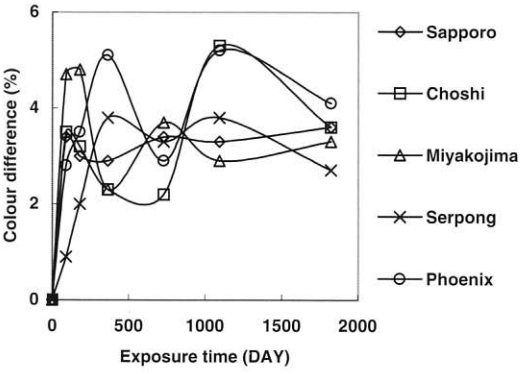


Fig. 4. Colour difference of NR

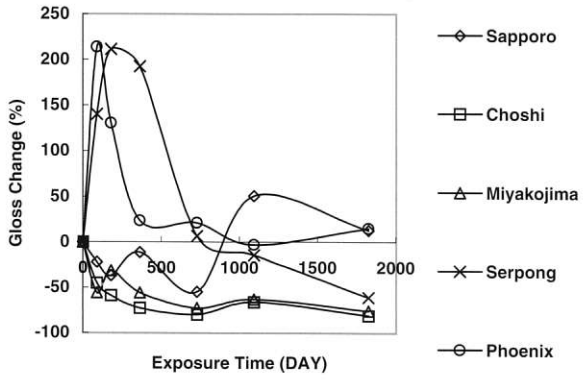


Fig. 5. Superficial gloss of NR

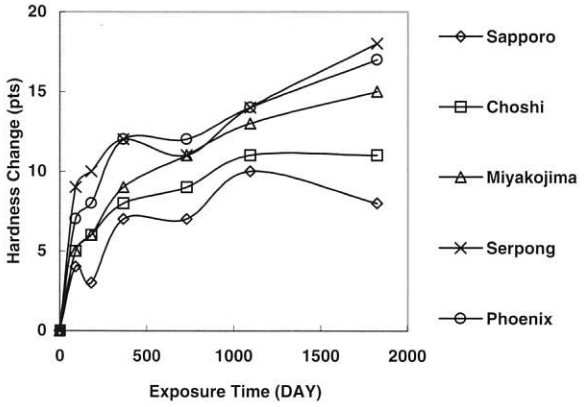


Fig. 7. Hardness change of S-1

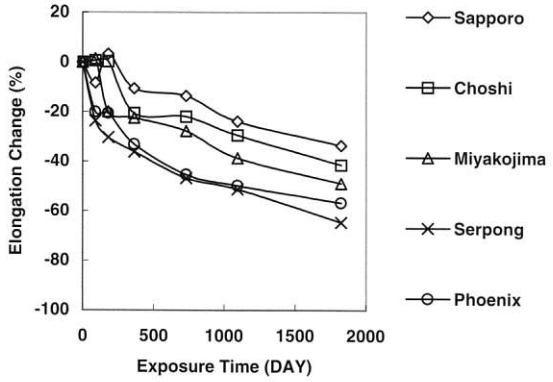


Fig. 6. Elongation change of S-1

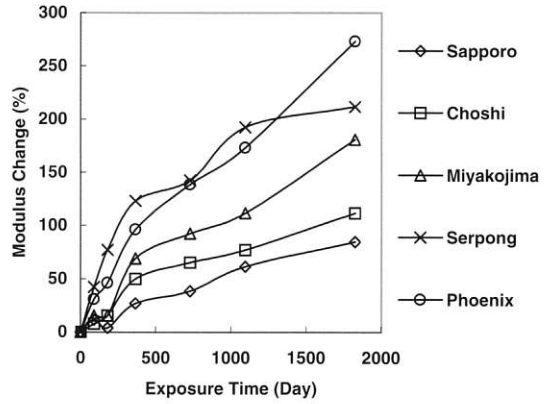


Fig. 8. Modulus change of S-1

shows the effect of filler on degradation for exposure in Choshi, Japan. In this evaluation, the clay system shows faster degradation than the carbon black system, and the degradation of the carbon black system is almost the same as for SBR.

3.1.4. Degradation of CR

Figs. 14 and 15 show exposure time dependence of elongation change and hardness change of C-1 sample at each location. Elongation change shows a good relation with exposure time and the exposure conditions, but in the case of hardness a clear tendency was not observed. Fig. 16 shows the effect of antioxidant. When antioxidant was added, the degradation occurred gradually in almost the same manner as for SBR.

3.2. Correlation of the degradation behavior of rubber and the crosslink density

Figs. 17 and 18 show the relation between crosslink density change and tensile property change of the S-2 sample after outdoor exposure at each location. It shows a very good correlation between crosslink density and both elongation change and 100% tensile modulus change. This correlation means that the degradation in this case was controlled by a simple hardening phenomenon. On the other hand, Figs. 19 and 20 show the relation between crosslink density change and tensile property change of the S-4 sample and there is no clear correlation like for the S-2 sample. These results show that the degradation mechanism of the clay system is different from that of the carbon black system and that it is not a simple hardening phenomenon.

3.3. Correlation of natural exposure and artificial light exposure

Figs. 21 and 22 show the relation between outdoor exposure and exposure tests with an open-flame carbon-arc for 100% tensile modulus. The outdoor exposure was carried out for three years at Choshi, Japan and Phoenix, USA while the exposure test with open-flame carbon-arc was carried out for 1200 hours. It is clear that both figures show good correlation between natural exposure and open-flame carbon-arc exposure. Figs. 23 and 24 show the

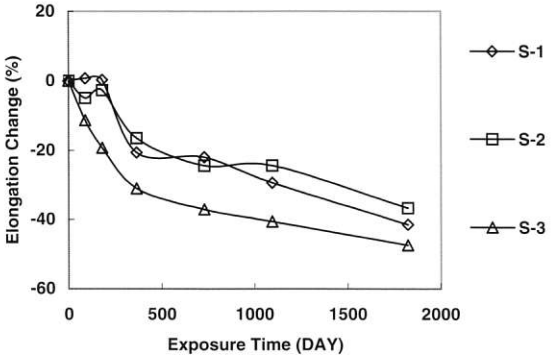


Fig. 9. Effect of antioxidant at Choshi

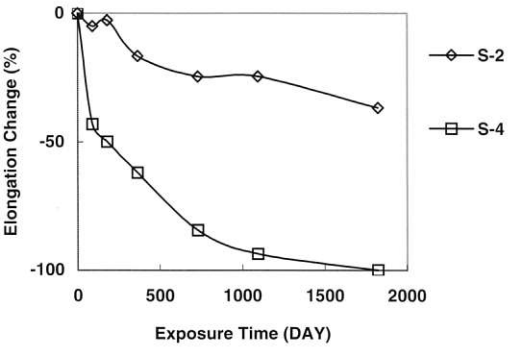


Fig. 10. Effect of filler at Choshi

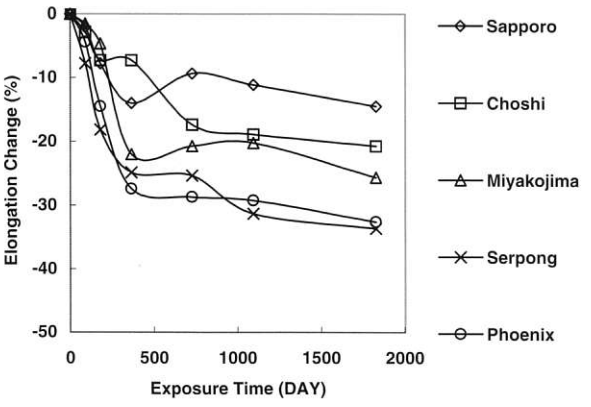


Fig. 11. Elongation change of E-1

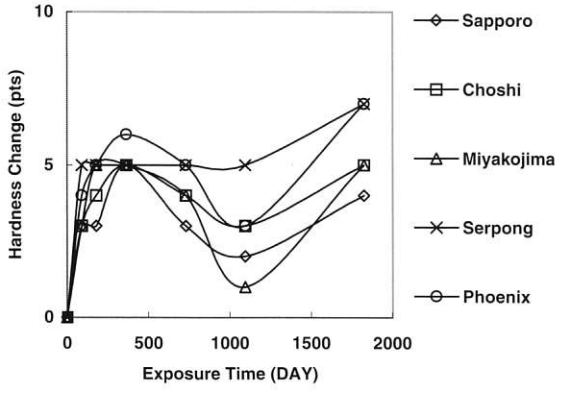


Fig. 12. Hardness change of E-1

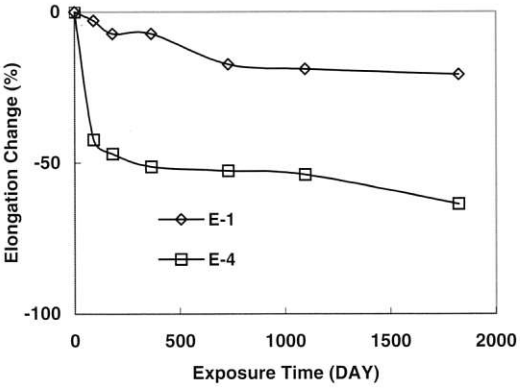


Fig. 13. Effect of filler at Choshi

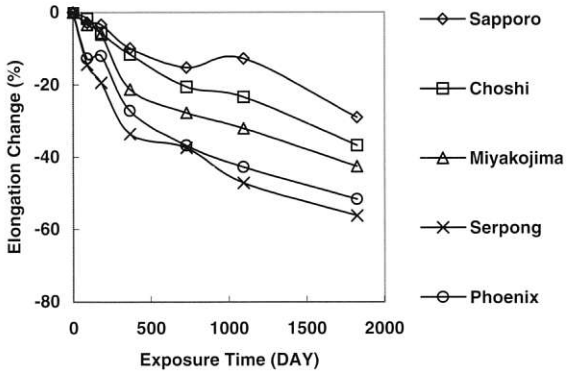


Fig. 14. Elongation change of C-1

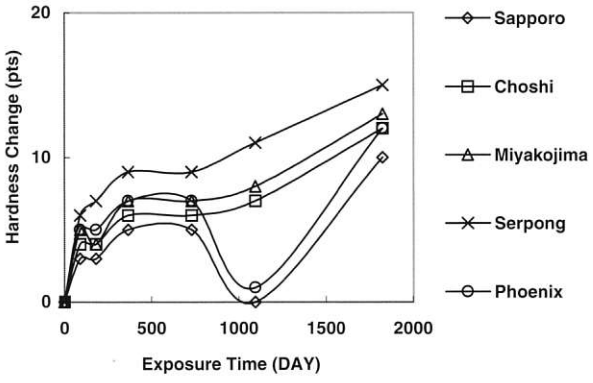


Fig. 15. Hardness change of C-1

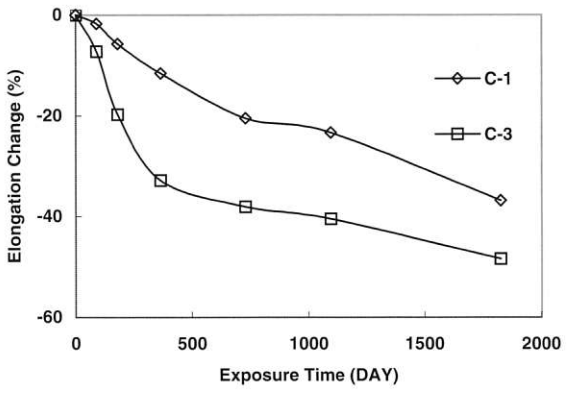


Fig. 16. Effect of antioxidant

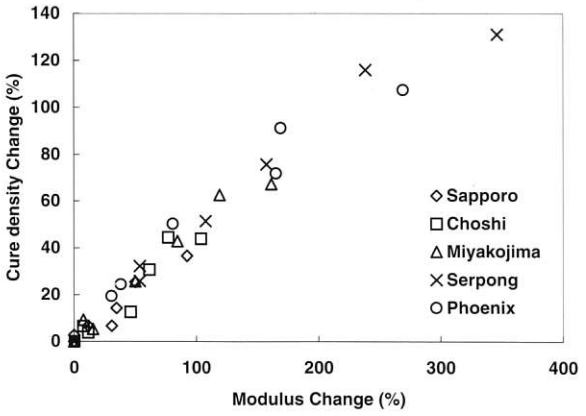


Fig. 17. Relation of modulus change and crosslink density change (%) of S-2

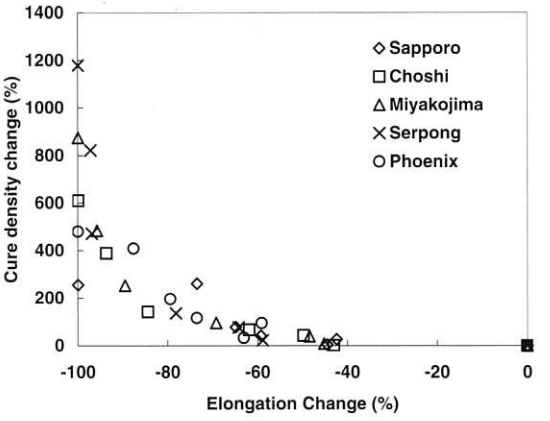


Fig. 20. Relation of elongation change and crosslink density change of S-4

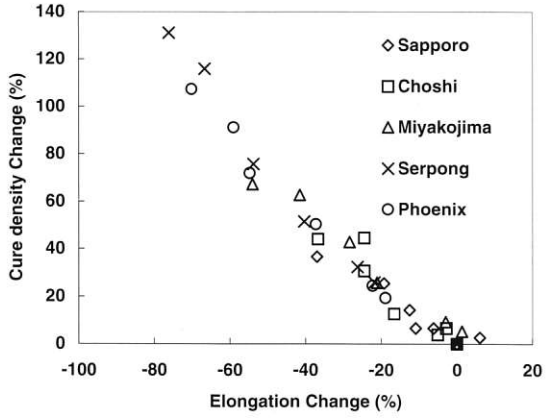


Fig. 18. Relation of elongation change and crosslink density change (%) of S-2

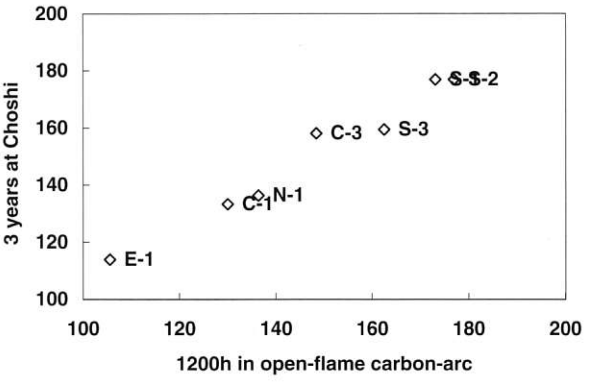


Fig. 21. S100(%) The relation between Choshi and open-flame carbon-arc

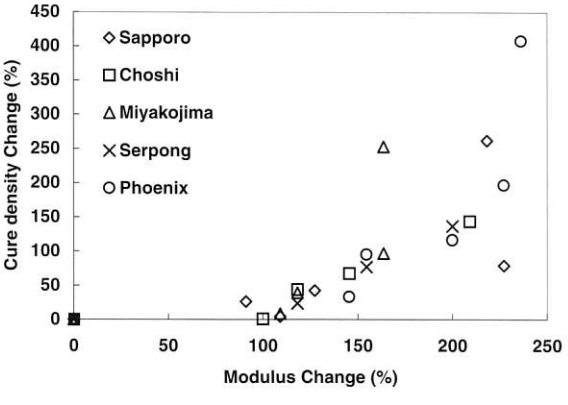


Fig. 19. Relation of modulus change and crosslink density change of S-4

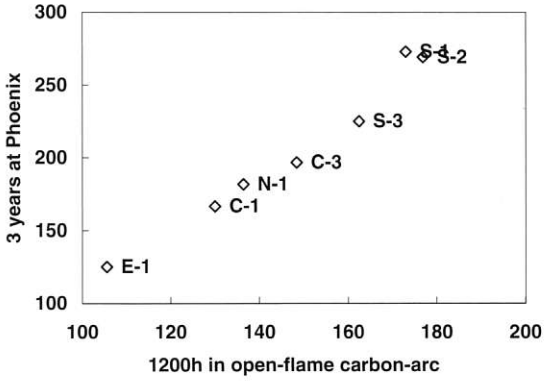


Fig. 22. S100(%) The relation between Phoenix and open-flame carbon-arc

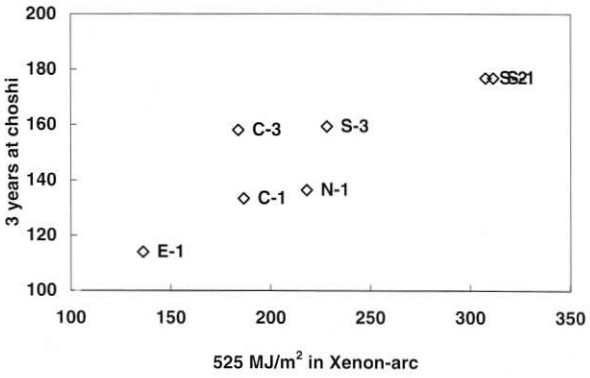


Fig. 23. S100(%) The relation between Choshi and Xenon-arc

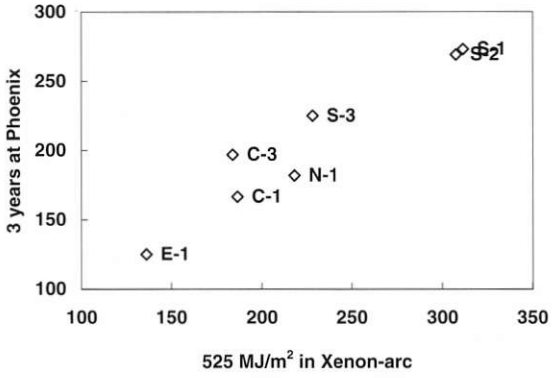


Fig. 24. S100(%) The relation between Phoenix and Xenon-arc

relation between outdoor exposure and exposure tests with a xenon-arc for 100% tensile modulus. The outdoor exposure was carried out for three years at Choshi, Japan and Phoenix, USA. The xenon-arc data are for 525 MJ/m^2 radiation. The exposure with xenon-arc also shows good correlation with natural exposure test except for samples of C-3 and S-3.

The coefficient of correlation was calculated for each mechanical property, elongation, 100% tensile modulus and hardness, between the five sites and artificial light sources. The ageing data at one year, two years and three years were adopted for comparison, while for each artificial light source, the data was taken at four exposure stages. And then "Principal component analysis" was conducted by using these correlation data.

In principal component analysis, a number of relevant properties can be represented by a set of aggregate components. When the number of properties is p, these properties are represented by a smaller number (m) of aggregate components under the conditions stated below:

$$z_1 = l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \cdots + l_{1p}x_p$$

$$z_2 = l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \cdots + l_{2p}x_p$$

.....

$$z_k = l_{k1}x_1 + l_{k2}x_2 + \cdots + l_{kp}x_p$$

.....

$$z_m = l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + \cdots + l_{mp}x_p$$

but

$$\sum_{l=1}^{p} l_{ki}^2 = 1 \qquad (k = 1, 2, \cdots, m)$$

Conditions

1) z_k and $z_{k'}$ ($k \neq k'$; k, k' = 1, 2, ..., m) are uncorrelated;

2) The variance of z_1 is the greatest among those of the linear expressions of (x_1, x_2, ..., x_p). The variance of z_2 is the greatest among those of uncorrelated linear expressions to z_1. Accordingly, the variance of zm is the greatest among those of uncorrelated linear expressions to z_1, z_2, ..., and z_{m-1}.

The 66.3% of property data were put together for the first principal component, and the 16.4% of property data were put together for the second principal component. Fig. 25 shows the principal score. The first principal component seems to show "progress of hardening". The second principal component seems to show "the difference between outdoor exposure and artificial light sources", which indicates a small change for artificial light sources and a large change for outdoor exposure. Especially, C-3 and S-3 samples have a big difference. From this result, it can be said that these two samples are not suitable for reference material.

4. CONCLUSIONS

Through our evaluation on the natural exposures and artificial light exposure tests using typical rubber materials, it becomes clear that the compounds of S-1, E-1, C-1 and N-1 are suitable for rubber reference samples for weathering evaluation. In particular, S-1 can be regarded as the most suitable reference material. These four compounds are useful for artificial light exposure tests as well.

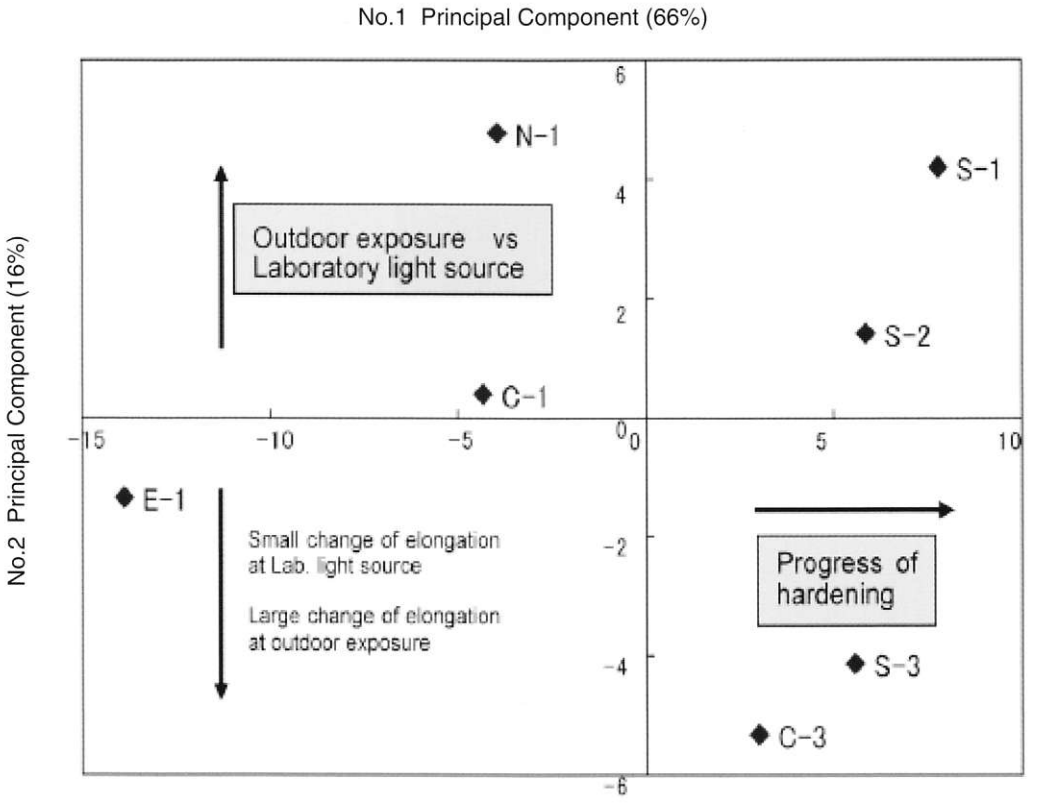


Fig. 25. Principal score of principal component analysis

In addition, it is obvious that suitable properties for exposure degradation are elongation change and tensile modulus change. Crosslink density is also useful if hardening degradation is the major factor.

ACKNOWLEDGMENTS

This research paper is accomplished in collaboration with NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization, Japan) and the standardization committee on weathering in JRMA (The Japan Rubber Manufacturers Association). We thank Mr. Shuichi Okutsu, the Chairman of the standardization committee, and its members. We also thank Mr. Shigeru Suga, the President of Suga Test Instruments Co., Ltd., for the constructive discussions and his useful advice.

REFERENCES

[1] A.Umeno, Rubber test method, The Society of Rubber Industry Japan, 1988. p. 208 - 212.

[2] Rao,C.R: Multivariate Analysis-An Indispentable statistical Aid in Applied Reserch, Sankhya, vol 22 (1960) p.317-338.

[3] Person, K, On Lines and Planes of Closet Fit to Systems of Points in Space, Phil, Mag., 2(six series), p.559-572.

[4] Anderson,T.W. An Introduction to Maltivariate Statistical Analysis, John Wiley & Sons, 1958.

［付記］

1) 発表誌：Polymer Testing, 25, (2006) p.166-175

2) 平成18年度スガウェザリング技術振興財団科学技術賞受賞論文

和田　法明
Noriaki WADA
1974年　入社
R&Dセンター

研究論文

戸建て住宅向け仕口高減衰ゴムダンパーの性能評価及び地震応答予測

A Development of the Damper Device which Used High Damping Rubber to Install in Joints for Wooden Houses

古田　智基[*1]
Tomoki FURUTA

Every time an earthquake beyond seismic intensity about 6 occurs, a large number of wooden houses suffer remarkable damage of partial destruction and complete collapse. However, because the quake-free damping equipment for a wooden house possessed is expensive at present, the rate of diffusion in the very low.

So the damper device installed high damping rubber for joints (It is called the damper device at below) was developed. The cost of manufacturing the damper devices is low and the mechanism is simple for the wooden house.

When making this damper device, the laminated structure which established on a normal joint metal and inserted high damping rubber between the part of the steel plate and making the foundation side fixed settlement, a pillar revolves by vibration, and when it can be pulled out, high damping rubber transforms a shearing revolution, and oscillation energy is absorbed.

This damper device is made of the shape and the performance also practicable for the seismic reinforcement when reconstructing.

From the typical horizontal loading test of the joint specimens with the damper device whose high damping rubber of width 80 mm and height 120 mm and thickness 5mm between a steel plate, equivalent stiffness (K_{eq}) was an average of 110.7 N/mm, and the H_{eq} was an average of 33.8 %. And stiffness is 2.33 times, the Heq could confirm 1.62 times of improvement for stiffness only compared with a normal joint metal.

Next, conducting the earthquake response analysis of a general wooden house, the damper device above-mentioned reduced the response displacement of the frame with braces at most 41.1 % and an average 26.8 %, and response acceleration at most 29.8 % and an average 15.0%.

1. は　じ　め　に

震度6程度以上の地震が発生する度に、多くの木造戸建住宅が、半壊、全壊などの著しい被害を受けているが、現有する木造戸建住宅向けの免・制震装置は高価で、施工に手間がかかるため、普及率は非常に低い状況にある。また、既存木造住宅の耐震補強では、ローカルな悪質リフォーム会社によるイメージダウンにより、信頼性が失墜している状況にある。したがって、安価で施工手間が不要な、そして信頼性を有している耐震要素・部品の開発が急務である。

そこで、木造戸建住宅（特に軸組構造）を対象に、安価で単純仕掛けとなることを目標に、高い信頼性と減衰性能を有した高減衰ゴムを、柱・土台（梁）の接合部に仕込んだ制震部品（以下、仕口高減衰ゴムダンパーと呼ぶ）を考案した。仕口高減衰ゴムダンパーには、当社が大型構造物の免震用積層ゴム向けに開発した、高耐久の高減衰ゴムと加硫接着技術を適用する。また、本ダンパーは、新築時は勿論のことリニューアル時の耐震補強にも使用可能な形状、性能としている。

本稿では、仕口高減衰ゴムダンパーの性能を実験的に確認するとともに、そのデータを用いてある建物を対象とし、地震応答解析による最大応答変位の低減率を予測した。

2. 仕口高減衰ゴムダンパーの概要

本仕口高減衰ゴムダンパーは、振動時に構造部材の接合部（柱と梁、柱と土台、土台と基礎）が変形するため、その変形による減衰効果を期待したものである。すなわち、図1に示すように、金物の一部に高減衰ゴム

[*1] 運搬建設資材事業部

を挟み込んだ積層構造とし（ゴムと金物は加硫接着）、土台側を固定定着とした場合、振動によって柱が回転したり引抜けたりすると図2のように高減衰ゴムがせん断回転変形し、振動エネルギーを吸収する。

本仕口高減衰ゴムダンパーは多種のパターンが考えられ、図3のように中柱を対象にL字型とした方式、図4ようにブレース対応とした方式、図5のようにホールダウンとした方式が考えられる。

3. 基本性能試験

3.1 試験体

基本性能を確認した試験体を図6及び表1に各々示す。ここで適用した仕口高減衰ゴムダンパーは、通常使用されている接合金物の上から設置するタイプで、T型とL型の2種類である。既存接合金物のみの試験体を

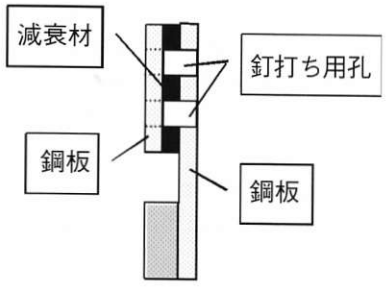


図1 仕口高減衰ゴムダンパー（T型）

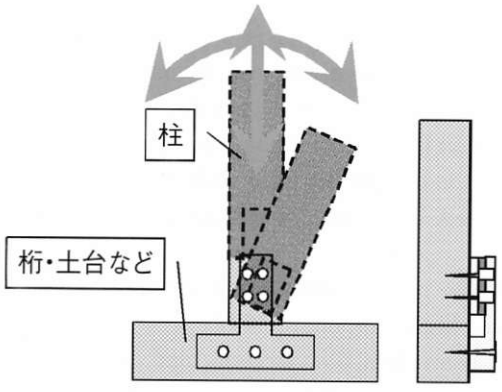


図2 変形図

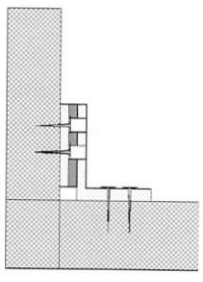


図3 仕口高減衰ゴムダンパー（L型）

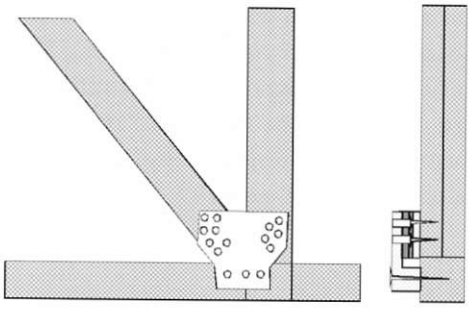


図4 仕口高減衰ゴムダンパー（ブレース）

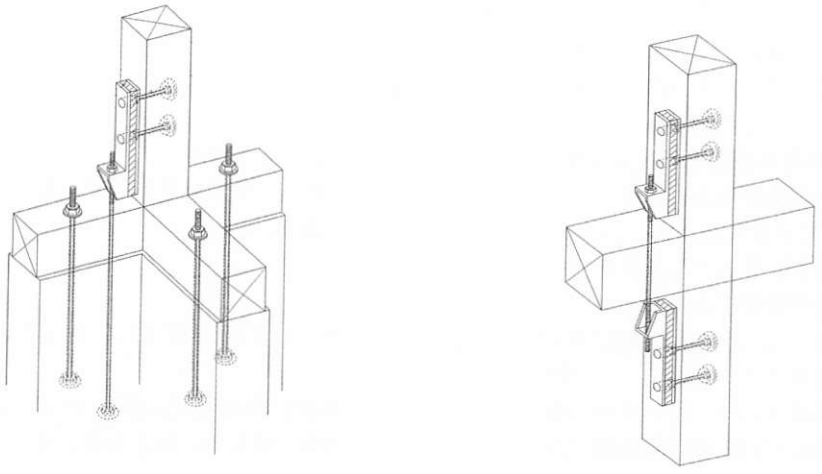


図5 仕口高減衰ゴムダンパー（ホールダウン）

基準とし、ゴム部形状を4種類変化させた計7体の試験体を準備した。使用した高減衰ゴムの基本特性は、表2に示すとおりである。また、今回使用した木材（樹種）は通常使用されているすぎ（等級E110）で、試験時の含水率は平均14.7%であった。

3.2 試験方法

図7に示すとおり柱と土台の接合部分を取り出し、土台を反力フレームに緊結し、アクチュエータにより水平方向に載荷した。載荷ステップは、柱部材角（R）=1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30, 1/15と

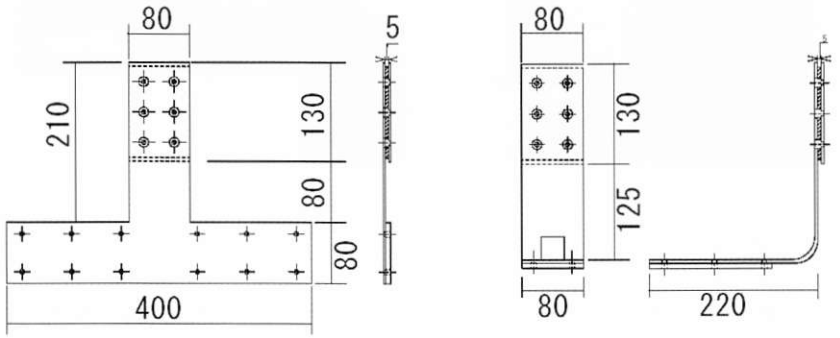


図6 試験体形状

表1 試験体

試験体No.	金物形状	ゴム部形状 （mm）	既存接合金物
No.01	—	—	CP－T／A型
No.02	T型	80×80×@5	CP－T／A型
No.03	T型	80×80×@16	CP－T／A型
No.04	T型	80×120×@5	CP－T／A型
No.05	T型	80×120×@16	CP－T／A型
No.06	—	—	CP－T／L型
No.07	L型	80×120×@5	CP－T／L型

表2 ゴム材料特性

材料	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	等価減衰定数 H_{eq} (%)	破断伸び率 E_b (%)
高減衰ゴム	0.40	23.9	600以上

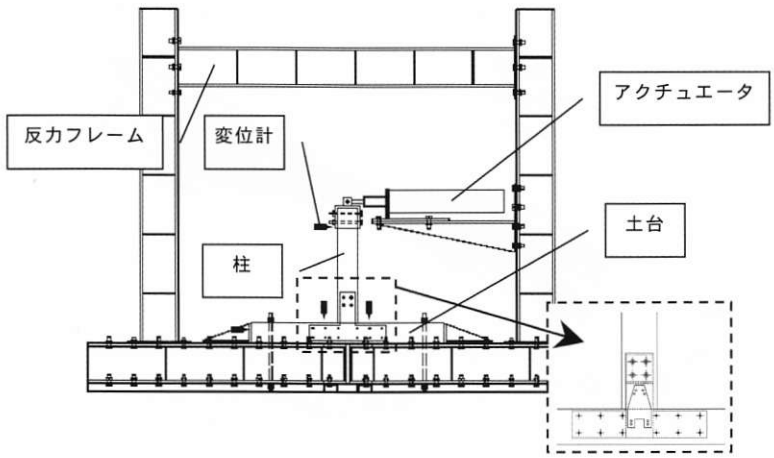


図7 載荷図

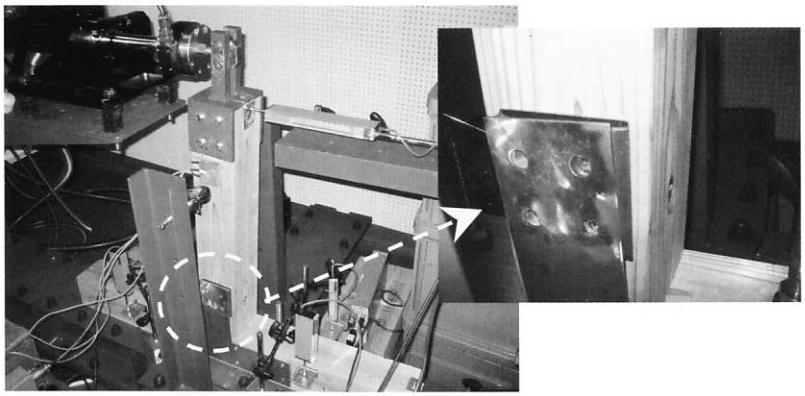


写真1　載荷状況

し、各3サイクル繰返し載荷した。載荷状況を写真1に示す。

3.3　試験結果

代表的な荷重履歴曲線を図8に、主要な変位量における等価剛性（K_{eq}）及び減衰量（H_{eq}）を表3、表4に各々示す。剛性は、T型の場合、既存接合金物と比較して平均1.45倍以上の向上が確認でき、特にゴム部の面積を大きく厚みを薄くしたNo.04は、平均で2.33倍の剛性の向上が確認できた。No.04とゴム部が同形状のL型のNo.7の剛性の向上が平均で1.47倍とT型と比較して低かったのは、土台との固定度が低く、ほぞの抜け出しによるものである。この傾向は、既存接合金物のみのNo.01とNo.06の比較においても確認できる。

減衰量は、T型の場合、既存接合金物と比較して平均1.47倍以上の向上が確認できた。ゴム部の面積より厚みの影響が大きいと予想していたが、No.04とNo.05との比較ではその影響は顕著に確認できなかった。これは、ゴムの厚みが@5mmの試験体（No.02, No.04）の場合でも、せん断ひずみが最大でγ=226%のため、厚みによる影響が出にくかったことと、木材の特性のばらつきによるものと推測される。No.04とゴム部が同形状のL型のNo.7の減衰量の向上が平均で1.45倍とNo.04と比較して低かったのは、剛性と同様に土台への固定度が低く、ほぞの抜け出しによるものである。

4. 地震応答解析

4.1　対象建築物

既存接合金物のみと比較して、等価剛性（K_{eq}）が2.33倍、減衰量（H_{eq}）が1.62倍と制震部品としての効果を確認した表1のNo.04の仕口高減衰ゴムダンパーを適用し、図9の平面図に示した建物を対象に地震応答解析を実施した。ここで、対象建物は一般的な軸組構法の木造住宅を対象とするため、参考文献1）を参考にした。

対象建築物の諸元は、床面積：1階67.49m^2、2階62.93m^2、重量：1階122.0kN、2階228.2kN（屋根荷重含む）、

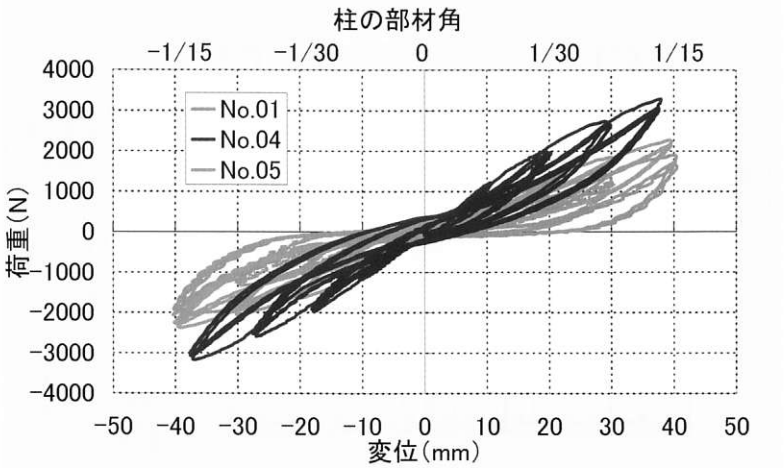


図8　荷重履歴曲線

表3　等価剛性の変化

変位量		試験体No.											
mm	R	01	02		03		04		05		06	07	
		N/mm	N/mm	02/01	N/mm	03/01	N/mm	04/01	N/mm	05/01	N/mm	N/mm	07/01
1.3	1/450	53.2	106.8	2.01	79.1	1.49	115.8	2.17	109.2	2.05	61.8	84.2	1.36
3.0	1/200	46.6	95.7	2.05	70.9	1.52	121.2	2.60	102.8	2.21	55.4	70.9	1.28
6.0	1/100	42.7	84.3	1.97	71.6	1.67	118.2	2.77	89.1	2.09	48.2	64.6	1.34
12.0	1/50	55.7	79.3	1.42	68.7	1.23	113.3	2.03	75.6	1.36	40.3	62.0	1.54
20.0	1/30	54.7	73.7	1.35	65.9	1.20	103.4	1.89	72.3	1.32	30.8	57.2	1.86
40.0	1/15	50.8	64.2	1.26	52.5	1.03	85.4	1.68	58.2	1.15	24.1	44.5	1.85
平均		48.1	84.5	1.65	68.8	1.45	110.7	2.33	85.3	1.80	44.0	63.3	1.47

表4　減衰量の変化

変位量		試験体No.											
mm	R	01	02		03		04		05		06	07	
		%	%	02/01	%	03/01	%	04/01	%	05/01	%	%	07/01
1.3	1/450	21.6	28.3	1.31	3.53	1.64	37.8	1.75	37.8	1.75	17.6	21.8	1.24
3.0	1/200	22.6	28.4	1.26	44.8	1.98	32.3	1.43	31.9	1.41	15.5	21.4	1.38
6.0	1/100	22.6	28.5	1.26	38.6	1.71	31.0	1.37	33.3	1.47	13.5	19.4	1.44
12.0	1/50	19.6	29.4	1.50	29.6	1.51	32.6	1.66	35.1	1.79	12.5	21.9	1.76
20.0	1/30	18.6	34.1	1.83	36.0	1.94	32.1	1.73	32.8	1.77	11.8	19.9	1.68
40.0	1/15	19.3	32.4	1.68	33.6	1.74	33.0	1.71	34.4	1.78	15.1	24.8	1.64
平均		21.0	30.5	1.47	37.4	1.78	33.8	1.62	34.3	1.65	14.5	20.9	1.45

総重量410.2kN、階高：1階2.8m，2階（屋根含む）3.9m、固有振動数：3.3Hz、減衰定数：5.0%である。耐震要素はすべて1P筋交い壁（筋交い：105mm×45mm）を用い、建築基準法の壁量充足率は必要壁量に対し、1階XY方向とも123.14%，2階XY方向とも116.48%と満足している。

4.2　解析条件

対象建築物の復元力特性は、図10に示すとおり参考文献2）の筋交い壁の水平加力実験結果を参考にした。なお、対象建築物の剛性は、X，Y方向ともに等しい。また、仕口高減衰ゴムダンパーを付加した復元力特性は、図11の水色曲線に示すように、ベイマツ筋交い105mm×45mmの1P片筋交い壁（壁倍率1.0倍）の筋交い接合部に、仕口高減衰ゴムダンパーを2個取付けた場合を仮定した赤色曲線を基に、復元力モデルを原点指向型で仮定した。この「筋交い壁＋仕口高減衰ゴムダンパー」モデルの1次剛性は2.3kN/mm，2次剛性は0.9kN/mm，3次剛性は最大耐力後の負勾配は発生しないものと仮定し0.001kN/mmと設定した。解析モデルは、各階を剛体とした2質点モデルとし、復元力モデルは、「筋交い壁＋仕口高減衰ゴムダンパー」モデルを各階の筋交い壁（両筋交い：壁倍率2.0倍、片筋交い：壁倍率1.0倍）の壁倍率合計（1階壁倍率合計：14.0、2階壁倍率合計：7.0）に換算した。

解析方法は、Newmark-β法を用いた直接積分法により、多質点系時刻歴地震応答解析プログラム「Cygwin」を用いた。入力地震波は日本建築センター模擬波bcj-L1（原波）、エルセントロNS（原波）、神戸NS（原波）の3波を対象とした。

4.3　解析結果

時刻歴地震応答解析結果の代表例として、ElCentro NS波による各階層間変位を図12に、地震波毎の応答結果を表5に各々示す。解析の結果、各筋交い壁に仕口高減衰ゴムダンパーを設置して等価剛性を上昇させることにより、応答変位は平均で26.8%、最大で41.1%低減された。更に、高減衰ゴムの減衰力により、最大応答

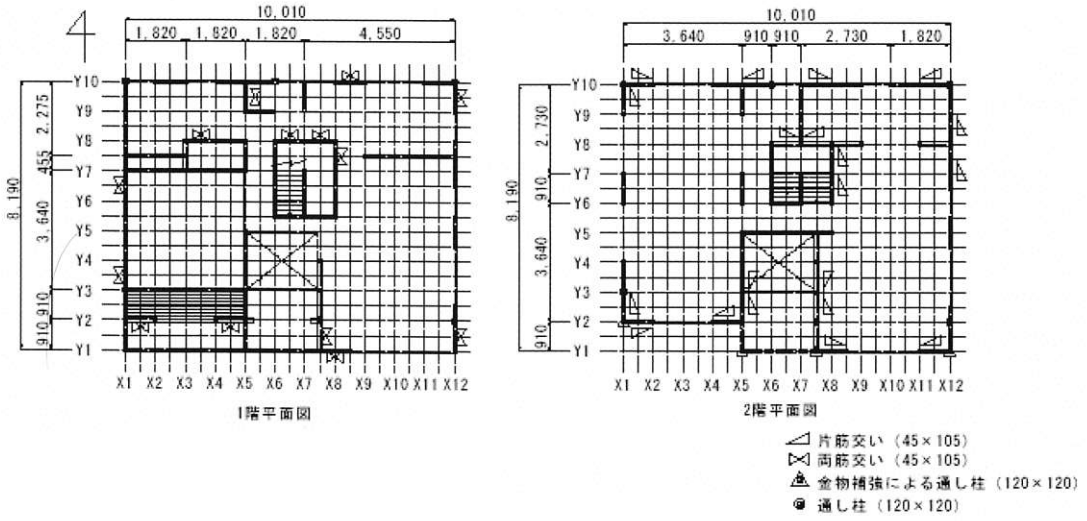


図9　対象建築物平面図

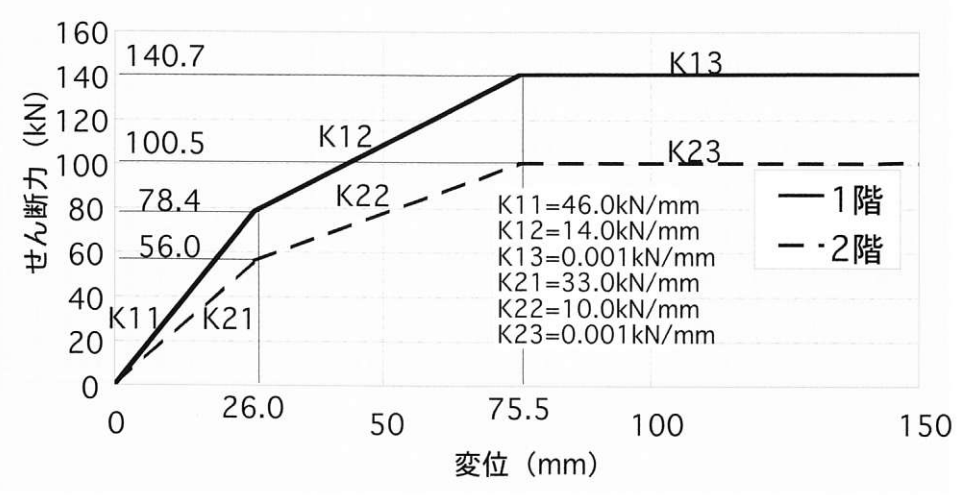


図10　対象建築物の復元力モデル

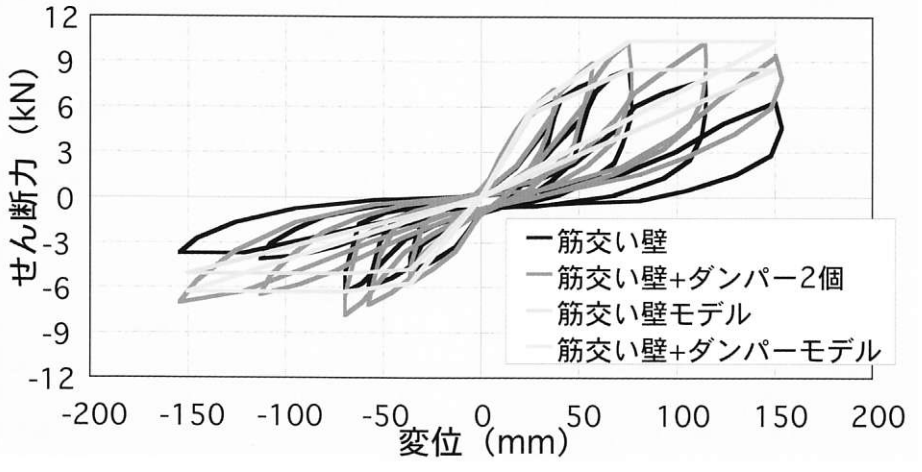


図11　仕口高減衰ゴムダンパーの復元力モデル

加速度は上昇することなく、平均で15.0%、最大で29.8%低減された。

5. ま と め

本仕口高減衰ゴムダンパーを従来の接合金物に付加することにより、剛性、減衰ともに向上することが確認できた。そして、地震応答解析により、本仕口高減衰ゴムダンパーを筋交い壁に設置することにより、最大応答変位、最大応答加速度ともに低減されることを確認した。今後、フレーム実験、動的実験等を経て、商品化に向けた検討を進めていく。

参考文献

1) 阪田、三宅、平野、河合、腰原、箕輪、五十田：震動台による既存木造住宅の耐震性能検証実験　その5　被災後に補修された建物の性能（震災復旧実験）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.377-378、2006.9
2) 大野、岡部、佐久間、下屋敷：耐力壁の水平加力試験における繰り返し回数の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.279-280，2000.9

古田　智基
Tomoki FURUTA
2000年　入社
運搬建設資材事業部

技術資料

コアシェル構造シリカコート粒子

Silica-coated Particles Having Core-shell Structure

田辺　美晴[*1]
Miharu TANABE

武居　正史[*1]
Masafumi TAKESUE

Coating on surface of various particles can provide additional properties, for example, adsorption property, chemical reactivity, dispersibility, and solubility. Processes and properties of silica-coated particles have been widely studied to apply biotechnology, opto-electronics, and others. In this paper, it is reported about two silica-coated particles. Silica-coated magnetic particles adsorbed efficiently DNA (deoxyribonucleic acid) by optimizing dispersibility of the particles in water and by modifying functional group to the surface on silica-coated layer. The other, silica-coated ZnS particles can be controlled thickness of the silica-coated layer without aggregation.

1. 緒　言

微粒子材料は、従来の素材にない性質を持つ新材料として注目されている。微粒子材料の応用における重要な技術は、溶液に均一分散させること、機能性を付与することである。これらの技術は、微粒子表面加工によって解決されるものが多い。例えば、有機物分散剤によって保護された金、銀などの貴金属微粒子は、表面の分散剤があるために溶液中で安定に分散できる。また、微粒子表面を高分子有機材料やシリカ、チタニアのような無機材料で被覆する技術は、微粒子本来が持つ機能の保護、表面改質、表面の機能化という目的から重要な技術となっている。しかしながら、一般的な平板基材と異なり、微粒子表面コーティング技術に関しては、確かな方法が確立されていない現状がある。

当社では、金微粒子、銀微粒子、銅微粒子をはじめとするさまざまな金属微粒子、蛍光体、磁性体などの無機微粒子の創製を取り組んでおり、さらに粒子表面へのコーティング技術（コア/シェル粒子化）、官能基導入などの微粒子の表面修飾に関する研究も行ってきた。これまでに高分子で微粒子を被覆する検討として金ナノ粒子のポリアクリルアミドによるコート、無機物での検討としては、シリカコートの検討を詳細に行っている。微粒子のシリカコート技術は、ライフサイエンス分野、オプトエレクトロニクス分野、実装配線分野などのさまざまな材料に適用することが可能であり、一部で実用化されている。本報告では、当社で行ってきた粒子のシリカコートの検討結果と、それにより獲得した技術、横展開について解説する。

2. ライフサイエンス分野における シリカコート粒子

2.1 ライフサイエンス分野におけるシリカコート技術の応用について

飛躍的発展を遂げようとしているライフサイエンス分野では高速、高効率化、多量処理を必要としている。生検査分野においては、検査材料に微粒子が使用されている。例えば金微粒子を使ったイムノクロマトグラフィー法、蛍光粒子による蛍光観測、また自動処理化目的として磁性粒子が用いられる。しかしながら、いずれの粒子も単一の材料構成では充分な能力を発揮することはなく、抽出、検出したい目的物質と特異的に反応する表面が必要となる。よって金粒子、蛍光粒子、磁性粒子にしても、それらの表面に特別の官能基、コート層を施して初めて実用化できる。例えば、特異的表面として使われるものの１つがシリカである。シリカはDNA（デオキシリボ核酸）とある条件で吸着、脱離をすることがわかっている。シリカを使ったDNA抽出法は、従来のフェノール、アルカリなどの有害試薬を用いた手法に代わる簡便な方法として急速に浸透を遂げるが、単にシリカ、シリカ球を使っただけでは回収過程が煩雑にならざるを得ないため、高速、簡便化の妨げとなった。そこで提案されたのがシリカコート磁性粒子である。磁性粒子表面にシリカ層をつけることで、DNAの吸着した粒子を自由自在に操ることが可能となる。当社の検討の結果、種々の反応条件を変えることによって、粒子間凝集、シリカコート膜厚、表面電位、比表面積などを制御することが可能となった。これらの一例を図１に示す。

[*1] 開発事業部

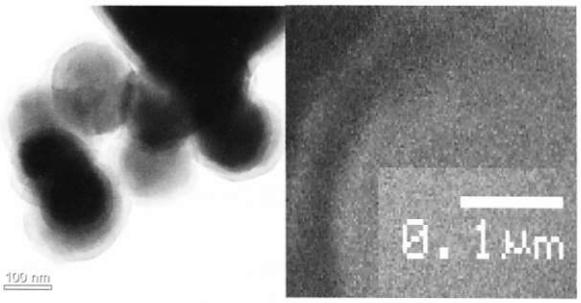


図1　シリカコート磁性粒子の電子顕微鏡写真
（左: 膜厚 20 nm; 右: 膜厚 40 nm）

2.2　DNA抽出用シリカコート粒子について

シリカコート条件と粒子構造の相関関係の検証結果を踏まえてDNA抽出用粒子を設計し、DNAの抽出性能を評価した。シリカコート磁性粒子を使ってDNAを抽出するには、試薬や物理的作用により細胞を破砕し、DNAを細胞外へ露出させた後、吸着補助試薬として塩酸グアニジン、グアニジンチオシアン酸塩などの存在下、シリカコート磁性粒子に吸着させる方法（プロトコル）が一般的である。本検討では、この基本プロトコルを使っている市販のプラスミド回収キットを利用して検討を行った。プラスミドDNAを含む大腸菌を培養し、一定量を集菌した。菌に試薬を加え、細胞を破砕し、余剰の細胞片を取り除いた。その後吸着補助剤とシリカコート磁性粒子を添加しDNAを粒子に吸着させた。磁石で粒子を集めながら数回洗浄した後、水を加えて、粒子表面のDNAを遊離させた。遊離したDNA水溶液の波長260 nmにおける吸光度測定により、DNAの定性および定量、260/230 (nm), 260/280 (nm)の吸光度の比でDNA純度を評価した。当社標準品と市販キット付属の粒子を用いて比較検討した結果を図2に示す。

当社標準品は市販キット付属品と比べて、同一粒子濃度では同等以上のDNA抽出性能であるが、粒子濃度を薄くした場合、当社標準品は市販キット付属品よりDNA抽出量が多くなっている。

さらに図3のように、粒子濃度を薄めた場合におけるDNA抽出効率を粒子グラム量あたりで比べてみると、粒子濃度が薄い方が単位量あたりのDNA抽出量が

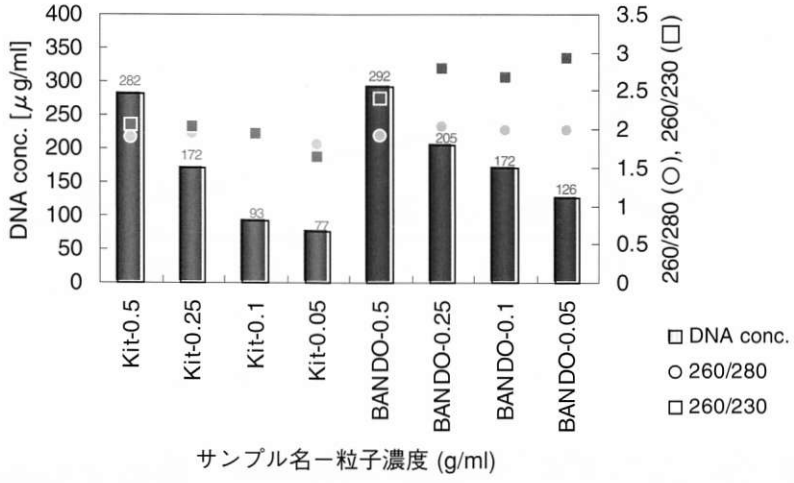


図2　当社標準品とキット付属品における粒子濃度とDNA抽出量の比較

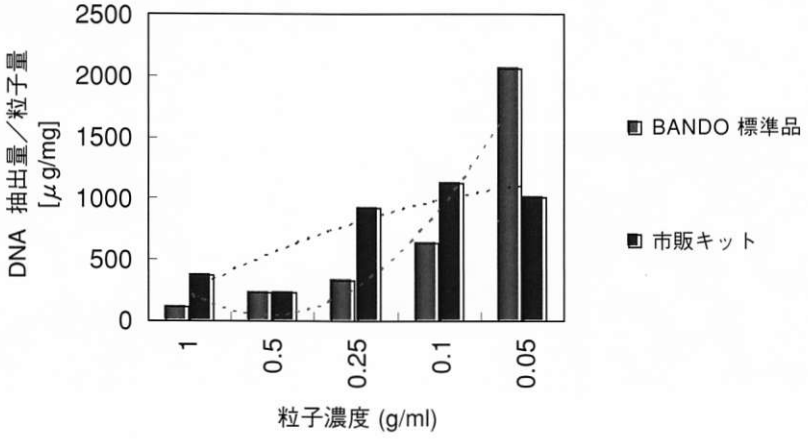


図3　当社標準品とキット付属品における粒子量あたりのDNA抽出量の比較

多くなる傾向にあることがわかる。この結果は、検査時の精度を上げることができ、且つコストを低減できる特長を示すものである。また粒子濃度が薄い場合において、DNA抽出効率が向上する要因として粒子の分散性が考えられる。

粒径および溶液中での分散状態の指標となるDLS（動的光散乱）粒径とDNA抽出量の関係は粒径が大きくなるとDNA抽出量が悪くなる傾向となった。一次粒径が同じ場合（電子顕微鏡観測による粒径）、DLS粒径の大きさは凝集状態の目安となることから、粒子が凝集するとDNA抽出量の悪化を招くことを示している。つまり、当社標準品は粒子の分散性が良いために、DNA抽出効率が高くなると考えられる。

さらに、シリカコート磁性粒子の表面電位（ゼータ電位）をコントロールし、検討した結果を図4に示す。表面に官能基を導入し、マイナスチャージとなるような粒子にしたもので、DNA抽出量を飛躍的に増やすことができた。

3. オプトエレクトロニクス分野におけるシリカコート粒子

当社のシリカコート技術は磁性粒子以外にも、さまざまな微粒子に適用可能である。ZnS（硫化亜鉛）は、Ag、Cuなどの不純物元素を導入した蛍光体として広く実用化されているほか、屈折率が高いためコロイド結晶の素材としての適用も検討されている。このZnSの単分散微粒子を調整し、さらに様々な膜厚でシリカコートしたものを図5に示す。コアのZnS微粒子は粒径351nmであるが、膜厚を25 - 325 nmの範囲で調整す

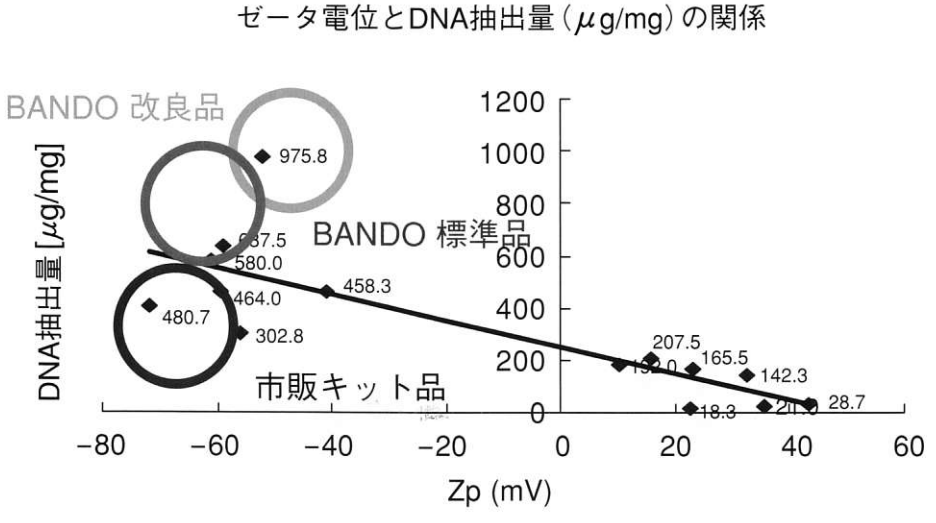


図4　ゼータ電位とDNA抽出量の関係

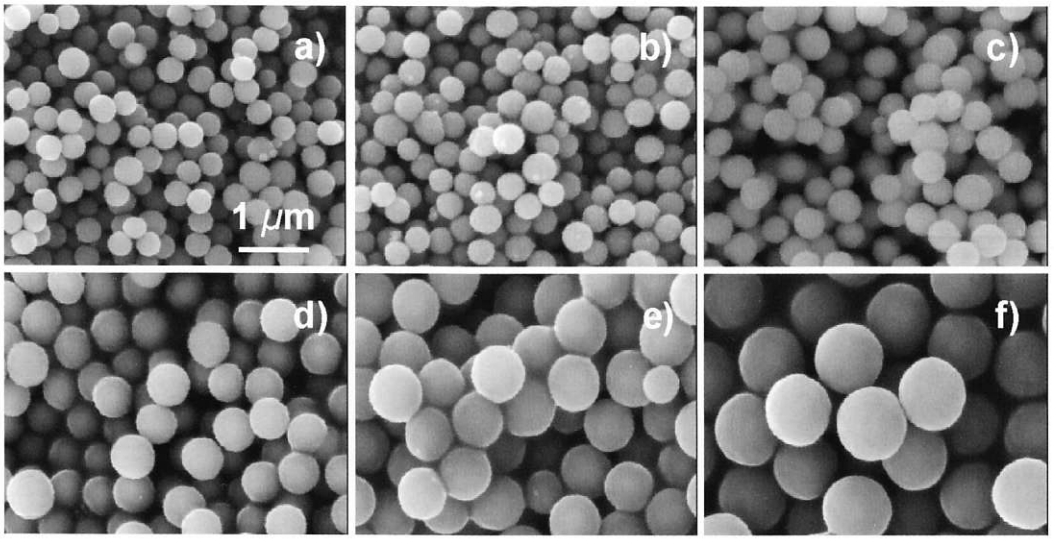


図5　コート膜厚の異なるシリカコートZnS粒子の電子顕微鏡写真
a) コートなし; b) 25 nm; c) 50 nm; d) 125 nm; e) 200 nm; f) 325 nm

ることができた。それぞれの粒子は凝集せずに分散性を保ったまま、シリカコートされていることが分かる。その他にもポリスチレンなどの高分子微粒子、様々な金属微粒子へのシリカコートも研究中である。

4. 結　言

このように微粒子の構造制御とシリカコート処理、さらにその表面の修飾をすることで、粒子の付加価値を上げることが可能となる。シリカコートは生体物質を吸着する機能のみを特長とするわけでない。その用途は幅広く、シリカの透過性、安定性を有効的に使い、コア粒子の表面改質、透過性、保護を目的として多様に利用できる。当社では本文で述べたようなシリカコート技術をライフサイエンス用途やオプトエレクトロニクス用途のみならず、一般産業用としてさまざまな材料への適用を検討している。コア粒子の大きさや表面の性質が異なるため、コート条件の検討が必要であるが、順次それらの開発をしていく予定である。さらにシリカ以外でのコーティングも研究中である。

田辺　美晴
Miharu TANABE
2003年　入社
開発事業部

武居　正史
Masafumi TAKESUE
1990年　入社
開発事業部

特許・実用新案登録一覧

(2006.10. ～ 2007. 9.)

（日本特許）

特許番号	発明者	発明の名称・要約
願 H10-112975[H10/04/23] 開 H11-299323[H11/11/02] 登 3942727-[2007/04/13]	大谷　真徳 中村　交成	〈名称〉搬送装置 〈要約〉植物を挟持していない状態で、クッション体のベルト幅方向両側面をベルト本体のベルト幅方向両側面よりもベルト幅方向中央側にずらし、ベルト幅方向に変形したクッション体のベルト幅方向両側面がベルト本体から突出するのを抑える。
願 H08-194644[H08/07/24] 開 H10-38040[H10/02/13] 登 3881722-[2006/11/17]	永谷　修一 宮田　博文 西川真一郎	〈名称〉ベルトの支援方法及び設計支援装置 〈要約〉一方向にのみトルクを伝達するカップリング部分のばねに加わる歪みがトルクを伝達する歪みである場合、カップリング部分のばね定数をばね要素の値として計算を行う一方、カップリング部分のばねに加わる歪みがトルクを伝達しない歪みである場合、カップリング部分のばね定数を一方向にのみトルクを伝達するカップリング部分のばね定数よりも低い値か零にし又はトルクを伝達しない。
願 H09-88334[H09/04/07] 開 H10-279037[H10/10/20] 登 3977891-[2007/06/29]	犬飼　雅弘	〈名称〉コンベヤベルト 〈要約〉コンベヤベルトのジョイント部のみ補強体をなくして、そのジョイント部のみの幅方向の剛性を他の部分よりも低くし、ジョイント部でのローラ荷重を下げる。
願 H09-231895[H09/08/28] 開 H11-57570[H11/03/02] 登 3940206-[2007/04/06]	泉　　央 八田　泰典 山口　清隆 河村　　諭	〈名称〉ローラ表面へのコーティング材の塗布方法及びその装置 〈要約〉ゴムローラを一方の湾曲搬送部分のローラ投入部から投入する。各ゴムローラを、上側直線搬送部分において、その軸線を水平にして自転しつつ搬送する。その搬送の際、まず、塗料がオーバーフロー状態で貯留されている塗工タンク上を通過することで、ローラ表面に塗料を塗布し、それに連続して、自転状態を維持したまま乾燥炉にて乾燥する。
願 H09-262262[H09/09/26] 開 H11-102114[H11/04/13] 登 3977905-[2007/06/29]	吉田　裕彦 永瀬　貴行 厚見　忠由	〈名称〉電子写真用現像ローラ 〈要約〉回転軸の外周に導電弾性層と表面層とを同心に積層して設けた現像ローラにおいて、表面層をシリコン化合物を分子内に導入したポリウレタン、特に、グラフト共重合によってシリコン化合物を側鎖に導入したポリウレタンで形成する。
願 H09-269770[H09/10/02] 開 H11-108125[H11/04/20] 登 3917264-[2007/02/16]	梅田　　栄 大川　浩一 岩崎　英丈	〈名称〉高負荷伝動用Ｖベルト 〈要約〉各Ｈブロックのベルト長さ方向両側面であってベルトピッチラインよりも背面側に、背面に向かって該ブロックのベルト長さ方向中央側に傾斜する背面側傾斜面をそれぞれ形成する。また、各ブロックの背面及び内面に、アイドルプーリ外周面が接触するベルト幅方向に延びる背面側及び内面側ストレート部をベルト幅方向に所定寸法で形成する。
願 H09-277258[H09/10/09] 開 H11-108121[H11/04/20] 登 3927662-[2007/03/09]	田島　義隆	〈名称〉伝動用ベルト及びその製造方法 〈要約〉帆布の端部同士の縫着部分におけるベルト背面露出側の上糸の太さを下糸以上とする。また、上糸及び下糸を、共にポリアミドのマルチフィラメント撚糸とする。

特許番号	発明者	発明の名称・要約
願 H10-235627[H10/08/21] 開 2000-62037[2000/02/29] 登 3961688-[2007/05/25]	荒木　浩二 茨木　敬彦	〈名称〉カバーゴムシートの成形方法及び成形装置 〈要約〉未加硫ゴムのベースシートとクッションシートとを貼る合わせてカバーゴムシートを成形する工程において、クッションシートの下面にそれより幅の広いベースシートを仮に貼合わせた後、ベースシートのエッジを検出して、それを基準としてカット手段の位置を定めてクッションシートの両側端周辺部をカットし、その切断された側端周辺部をベースシートより取り除くことにより、クッションシートのベースシートに対する幅方向の位置を調整する。
願 H11-28133[H11/02/05] 開 2000-225617[2000/08/15] 登 4011776-[2007/09/14]	片山　宗	〈名称〉使用済みＳＴコンベヤベルトの処理方法とその装置 〈要約〉古ベルトを焼却、埋め立てする処理方法では、スチールコードを短く裁断する必要があり、裁断刃の寿命が短く、又焼却、埋め立て処理するには公害問題を生じることがある。そのまま再利用する方法では、需要が少なく古ベルトのすべてを活用することはできない。この発明は、古ベルトをゴム材と中古コードとに分離して資源として活用することを目的とする。使用済みＳＴコンベヤベルトをその長さ方向に沿って細長く切断して該スチールコードが１本である単芯ベルトに分割した後、単芯ベルトをＳトリップダイスを通すことにより該中古コードとゴム材とに分離する。
願 H11-40970[H11/02/19] 開 H11-287298[H11/10/19] 登 3923207-[2007/03/02]	藤本　浩 尾上　勧 高橋　長	〈名称〉伝動ベルト 〈要約〉心線が埋設されてなるＶリブドベルトにおいて、ベルト自体の経時寸法変化と、走行後ベルト伸びとを共に小さく抑えて、サーペンタインドライブにおけるテンショナの作動スペースが小さくて済むようにし、もって、サーペンタインドライブを採用することによるエンジンルームのコンパクト化に大きく寄与できるようにする。撚りをかけたポリエチレン－２、６－ナフタレート繊維からなる心線を用い心線の生コード状態のときの初期引張抵抗度を 150 ～ 500g/de 範囲内にする。
願 2001-123228[2001/04/20] 開 2002-317115[2002/10/31] 登 3942841-[2007/04/13]	長谷川　誠 三木　隆司 永瀬　貴行 稲井　博之 岡崎　貴彦	〈名称〉ＯＡ機器用導電性部材 〈要約〉105 ～ 1012 Ω・cm の体積抵抗領域において極めて安定した導電性を示し、導電性の印加電圧依存性狩り遺作、連続通電時の導電性の変化が小さく、温湿度変化等の環境条件変動による導電性の変化が小さく、不リードやブルームによる感光体汚染を生じるＫとのないＯＡ機器用導電性部材を提供する。非エーテル系ポリウレタン及びビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミドチリウムからなる組成物を成形してなるＯＡ機器用導電性部材。
願 H09-211852[H09/08/06] 開 H11-048183[H11/02/23] 登 3899165-[2007/01/05]	堤　幹夫	〈名称〉ロボットアームの過負荷保護装置 〈要約〉係属中ロボットアームに装着されるハンドに過負荷が入力されたときに変位してアームを保護する過負荷保護装置として、３点支持構造の持つ、変位後の復帰の位置精度や固定時の剛性の向上、高度の加工精度や組立精度の不要化という利点を生かしつつ、軸傾斜方向の過負荷検出感度の方向性を円形に近図付けて均一化する。ロボットアームにとりつけられたるアーム側プレートの受圧部と、ハンドに取り付けられるハンド側プレートの受圧部との間に１つの中間プレートを配設し、この中間プレートが両受圧部間に狭圧されるようにハンド側プレートを押圧する押圧機構を設け、中間プレートとアーム側プレート及びハンド側プレートの受圧部との間をそれぞれ３点支持構造により支持して、これらの３点支持構造の支持点を正６角形の頂点位置に配設する。

特許番号	発明者	発明の名称・要約
願 2001-330860[2001/10/29] 開 2003-128792[2003/05/08] 登 3950317-[2007/04/27]	和田　法明 厚見　忠由	〈名称〉架橋クロロプレンゴムの再生方法 〈要約〉密閉式混練機を用いた大量処理が可能であり、再瀬により得られたクロロプレンゴムを再び架橋させた場合に強度の強い架橋クロロプレンゴムが得られる架橋クロロプレンゴムの再生方法を提供する。架橋クロロプレンゴムを含有するクロロプレンゴム組成物からなる平均粒径3 mm以下のゴム粒子に対して、下記式（1）及び下記式（2）で表される関係を満たす量の未架橋クロロプレンゴムを添加し、密閉式混練機により混練を行う工程を有する架橋クロロプレンゴムの再生方法。$y \geqq 5x + 5$（$1 \leqq x \leqq 3$）（1）$y \geqq 10$（$x < 1$）（2）式中、xはゴム粒子の平均粒子径（mm）を表し、yはゴム粒子１００重量部に対する未架橋クロロプレンゴム添加量（重量部）を表す。
願 2001-364555[2001/11/29] 開 2003-166597[2003/06/13] 登 3907456-[2007/01/26]	奥野　茂樹 野中　敬三	〈名称〉高負荷伝動用Ｖベルト 〈要約〉帆布部材が張力帯の本体ゴムの上下表面に接着され、複数のブロックが張力帯の凹凸に噛み合わされて係止固定された高負荷伝動用Ｖベルトにおいて、帆布部材のゴム組成を所定範囲に特定することで、ベルトの伝動効率及び耐久性を向上する。張力帯のコグにおける平坦部のゴム硬度をJIS-C硬度で75以上且つ83以下にする。帆布部材の長さ方向における貯蔵弾性率を60.2MPa以上且つ130MPa以下にする。
願 2002-6162[2002/01/15] 開 2003-206013[2003/07/22] 登 3907479-[2007/01/26]	東　　篤	〈名称〉コンベヤベルトおよびその製造方法 〈要約〉コンベヤベルトは、積層された未加硫のゴム組成物からなるゴムシートを熱盤で加硫して製造されるが熱盤によって挟む際には、該熱盤とコンベヤベルトとの間に離型剤を添加しておくことが必要となる。しかし離型剤を使用すれば、コンベヤベルト表面に汚れやべたつきの原因となり外観不良を生じやすいという問題がある。本発明は、このような離型剤による汚れ、表面凹凸および流れムラなどによってベルト外観を損なうことのない、搬送性および駆動性に優れたコンベヤベルトを提供すること、およびその製造方法を提供すつことを課題とする。芯体層の上下にカバーゴム層を積層一体化してなるコンベヤベルトにおいて、カバーゴム層の表面に短繊維が含有されていることを特徴とする。
願 2002-36375[2002/02/14] 開 2003-236998[2003/08/26] 登 3923332-[2007/03/02]	内藤　寛樹 西山　文晶 門谷　久夫	〈名称〉装飾用シート 〈要約〉柔軟な風合い、耐久スクラッチ性、耐候性、耐薬品性を有し、折り曲げ時に白化せず、３次元曲面への追従性に優れた装飾用シートを提供する。メタクリル酸メチルーアクリル酸アルキル共重合体と、メタクリル酸メチルーアクリル酸アルキルースチレン共重合体とを含有する基材層に、フッ化ビニリデン樹脂及びアクリル系樹脂を含有する表面保護層を積層した装飾用シートである。
願 2002-42685[2002/02/20] 開 2003-236945[2003/08/26] 登 3998994-[2007/08/17]	金田　真明	〈名称〉筒状スラブの型抜装置及び型抜方法 〈要約〉外周面に凹溝を有し、金型保持機構の上部及び下部係合部材が軸方向両端の小径部に係合して保持された内金型に対し、内周面に上記凹溝により形成された凸条を有し、スラブ保持機構の圧着爪部材が外周面に圧着して保持された筒状スラブを昇降機構により上昇移動させることで型抜きを行うようにしたベルト用の型抜機において、はす歯ベルト等、内金型の凹溝が螺旋状である場合に、筒状スラブの上昇移動速度に合わせて上部及び下部係合部材と圧着爪部材とを軸心回りに相対回転させる手段を設けることなく、型抜きが行えるようにする。上部及び下部係合部材をそれぞれベアリングにより軸心回りに回転可能にし、筒状スラブの上昇移動に伴い、内金型を軸心回りに連れ回りさせるようにする。

特許番号	発明者	発明の名称・要約
願 2002-198451[2002/07/08] 開 2004-36855[2004/02/05] 登 4011997-[2007/09/14]	井上　豊茂 湖中　淳二 石川　秀男 立道　誠彦 西田　健次	〈名称〉ダブルコグドVベルト 〈要約〉実際の2輪車のトランスミッション装置に用いて走行させた場合でも、高い伝動能力と高い耐屈曲性とを得ることができるダブルコグドVベルトを提供する。ダブルコグドVベルトは、心線を有するエンドレス長手方向に沿って一定ピッチで形成された下コグを有する下コグ形成部と、心線埋設部の外周側に一体に設けられベルト長手方向に沿って一定ピッチで形成された上コグを有する上コグ形成部と、を備える。少なくとも下コグ形成部は、引張弾性率40GPa以上の短繊維がベルト幅方向に配向するようにゴム成分100質量部に対して15～25質量部混合分散されたゴム組成物で形成されていると共に、心線は、ポリエステル繊維で形成されている。
願 2002-260446[2002/09/05] 開 2004-98353[2004/04/02] 登 4012021-[2007/09/14]	浅見　葉子 長谷部兼輝 原　浩一郎	〈名称〉平ベルトの製造方法 〈要約〉高耐久性能を有する平ベルトの製造方法を提供する。平ベルト10の製造方法は、周方向に伸性を有する筒状の心体12に液状の接着剤41を付着させるステップと、接着剤41が乾燥する前に心体12を円筒状金型42に被せるステップと、心体12に付着した接着剤41を乾燥させた後に心体12上にベルト用エラストマー材料43を設けるステップと、を備える。
願 2002-318684[2002/10/31] 開 2004-148470[2004/05/27] 登 3893144-[2006/12/15]	堤　　幹夫	〈名称〉ロボットアームカップリング装置の脱落防止装置 〈要約〉着脱シリンダ60によりツールプレート30をマスタープレート11に着脱させる着脱機構43を備えたロボットアームカップリング装置において、マスタープレート11からツールプレート30の脱落防止を安定して確実に行う。着脱シリンダ60の分離室59の加圧エアを供給するエア通路76に、マスタ及びツールプレート11、30への結合状態で第1位置P1に、また分離状態で第2位置P2にそれぞれ切り換わるツールプレート検出バルブ80と、マスタープレート1がツール置第90上の所定位置にあるときに第1位置P1に、またないときに第2位置P2にそれぞれ切り換わるツール置台検出バルブ81とを直列に接続したバルブ機構79を設け、両バルブ80、81がともに第1位置P1にあるか又はともに第2位置P2にあるときに分離室59に加圧エアを供給2にあるときに、分離室59を大気に開放しかつ加圧エア供給源からの加圧エアを大気中に放出するようにする。
願 2003-172737[2003/06/27] 開 2005-7676[2005/01/13] 登 4018033-[2007/09/28]	増山　剛干 谷　　新太	〈名称〉ブレード素材とその製造方法および製造装置 〈要約〉熱硬化型ポリウレタンのブレードを連続して製造することができ、生産効率が高く、製造工程の自動化が容易で、簡略化でき、設備コストを安くできる高品質のブレードおよびその製造方法・製造装置を提供する。成形溝を備えた加熱された成形ドラムを利用して、所定巾のブレードを連続して製造する方法であって、外部加熱手段を備えることによって、厚いブレードの高品質で生産する方法及び製造装置。
願 H09-14806[H09/01/13] 開 H10-195411[H10/07/28] 登 3987151-[2007/07/20]	高橋　佳子 黒田　秀雄 石橋　正和	〈名称〉ホットメルト接着剤 〈要約〉ポリエステル系ホットメルトをベースとし、5～25wt%の含有率になる量のグリセリン変性ロジマイシン酸エステルを配合し、且つ、125℃の溶融粘度が1×10の2乗～5×10の3乗pa・sのホットメルト接着剤。

特許番号	発明者	発明の名称・要約
願 2004-39538[2004/02/17] 開 2005-241662[2005/09/08] 登 4012159-[2007/09/14]	谷　新太	〈名称〉電子写真装置用ブレード用接着剤及び電子写真装置用ブレード 〈要約〉感光体汚染やトナー汚染の起こらない熱硬化型ポリウレタン樹脂接着剤及びブレードを提供する。イソシアネート基の反応触媒として一般式［Ⅰ］で表される水酸基を有するアミジン化合物を用いた硬化型ポリウレタン接着剤を用いて、電子写真装置用ブレード素材と金属製ブレードホルダーを接合する。
願 2004-60354[2004/03/04] 開 2005-121206[2005/05/12] 登 3927959-[2007/03/09]	宮田　博文 西川真一郎 吉村　真志	〈名称〉伝動ベルト用プーリ及びベルト伝動装置 〈要約〉伝動ベルト３の蛇行を防止する。円筒状のプーリ本体５を筒状の軸部材11にて回転自在に支持し、この軸部材11に支持ロッド８を挿入して、軸部材11を弾性体10によって支持ロッド８に弾性支持し、伝動ベルト３の片寄りを生じたときに、プーリ本体５を軸荷重の方向において高低差を生ずるように傾斜し且つ伝動ベルト３に対して斜交いになるように回転変位させ、伝動ベルト３を元に戻す力を発生させる。
願 2004-331491[2004/11/16] 開 2005-190993[2005/07/14] 登 3881996-[2006/11/17]	赤司　信隆 城田　靖彦	〈名称〉有機電子機能材料とその利用 〈要約〉光・電子変換機能を有し、酸化還元が可逆的であって、それ自体でアモルファス膜を形成することができ、ガラス転移温度が高いうえに、繰返しの酸化還元においても、ピーク電流値の変化が少なく、従って、安定性にすぐれた有機電子機能材料を提供する。このような有機電子機能材料は、例えば、有機エレクトロルミネッセンス素子を含む種々の電子デバイスにおける正孔輸送材等として好適に用いることができる。

バンコランロングシンクロベルト LSB—U S14M、S25M

（担当：運搬･建設資材事業部 技術部 サンライン技術グループ）

1. はじめに

当社はロングスパンの伝動･搬送用途にポリウレタン製およびゴム製の長尺歯付ベルトを販売してまいりました。特にバンコランロングシンクロベルトは、ポリウレタンの耐摩耗性を活かし、クリーン環境での用途（プリンタ・プロッタなどの駆動用、液晶・半導体などの軽搬送用）にS2M、S3M、S5M、S8Mタイプをラインナップし販売してまいりました。液晶／半導体市場は、台湾・韓国・アメリカを軸に最も成長性が著しい分野であり、日本のメーカーにおいても設備投資が盛んな状況にあります。特に第８世代や第９世代の大型用の液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイなどを効率よく生産するために、ガラス基板やパネルの大型化・重量化が進んできております。

2. 開発の背景･ねらい

これに対してバンコランロングシンクロベルトの品揃えは、S8Mタイプが最大強度をもつベルトでしたが、市場から要求される使用条件が厳しくなってきたため、強度不足で適用できなくなってきました。そのため、当社はクリーンな大型・重量搬送システムのニーズに応えるため業界で最高強度を有するバンコランロングシンクロベルトS14M、S25Mタイプを製品化いたしました。

3. 特長

① 業界最高強度（伝動・搬送能力）

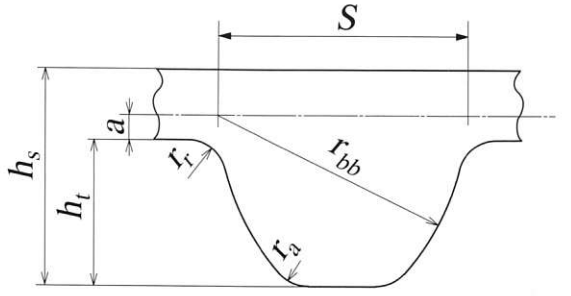
S25Mタイプ　－ 1200N／mm幅（許容張力）
S14Mタイプ　－ 900N／mm幅（許容張力）
（参考）S8Mタイプ　－ 470N／mm幅（許容張力）

② 優れたクリーン性
優れた耐摩耗性を有しているため、クリーン環境での用途でご使用いただけます。

③ 優れた静粛性
大型歯でありながらスムーズな噛合いを実現し、優れた静粛性を有しております。

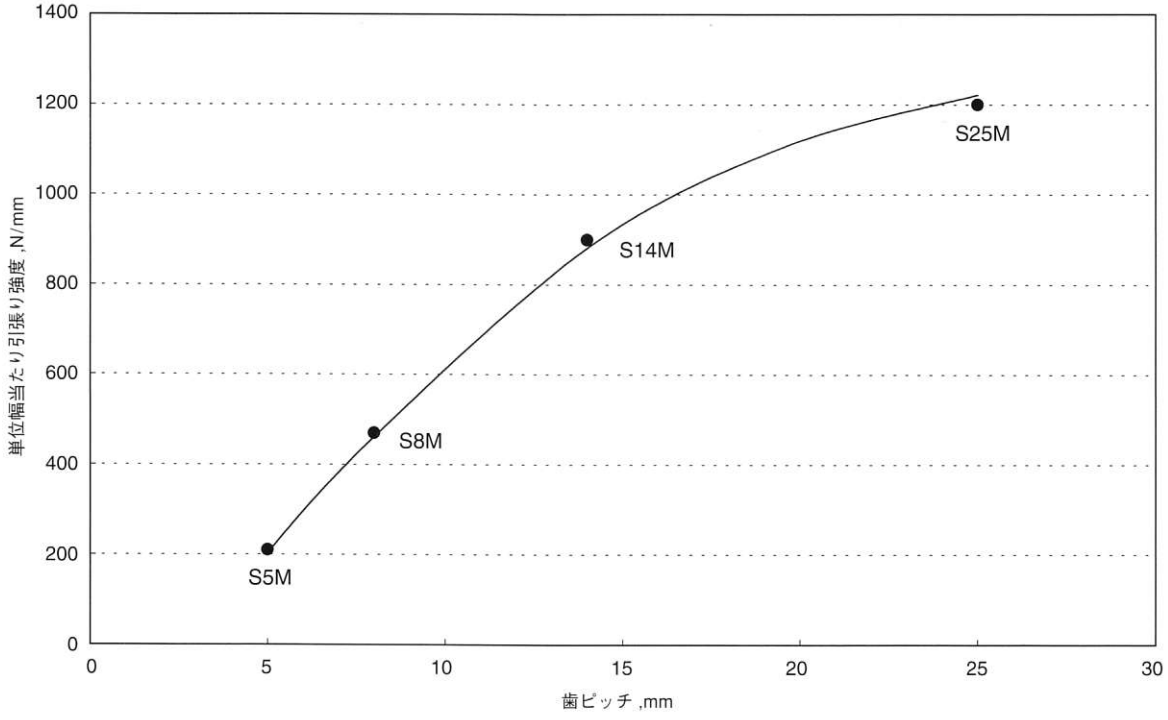
④ 優れた耐久性
高強度でありながら屈曲疲労性に優れた心線を使用しているため、優れた耐久性を有しています。

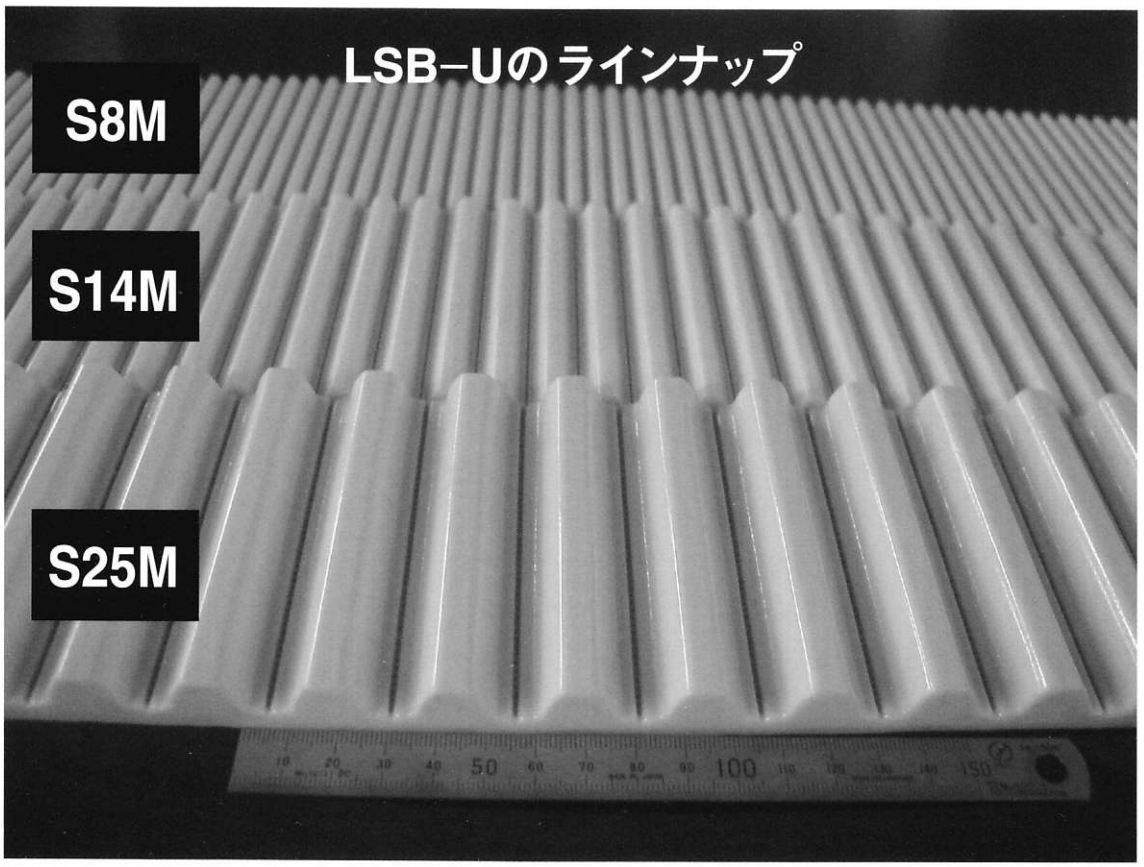
4. 製品のラインナップ



単位：mm

種類	歯ピッチ	h_s	h_t	S	r_{bb}	r_r	r_a	a
S25M	25	14.1	9.53	16.25	16.25	2.50	2.50	2.055
S14M	14	8.6	5.05	9.10	9.00	1.40	1.40	1.397
S8M(参考)	8	5.0	2.85	5.20	5.20	0.80	0.80	0.686


1400
1200
1000
800
600
400
200
0
単位幅当たり引張り強度 ,N/mm
0
5
10
15
20
25
30
歯ピッチ ,mm
S5M
S8M
S14M
S25M


LSB−Uのラインナップ
S8M
S14M
S25M

摩擦伝動ベルトにおける省エネルギー対応技術について

（担当：伝動事業部　伝動技術研究所　設計２グループ）

1. 緒　言

京都議定書の決議から10年、地球温暖化対策として省エネルギーとCO_2削減に関して世界規模で関心を持たれている昨今、エネルギーを有効、且つ損失を低減させる行為、それを実現させる技術は重要といえる。摩擦伝動ベルトにおいては、過去から如何に動力を効率良く伝達させるかという、伝達効率向上に注視し、改良開発に鎬を削ってきたが、効率を上げる為にベルトの形状を抜本的に変える、非常に高価な材料を用いる等、実際問題として、高効率化でベルト単体価格が上昇することが否めなかったのが現状である。今回、非常に容易に、且つ比較的低価格で高効率とエネルギー損失を低減させることを可能にするベルトとして市場に受け入れられている「省エネパワーエース」を紹介する。

2. 摩擦伝動ベルトの伝達効率

そもそも摩擦伝動における伝達効率は、以下図-1の方法で測定できる。

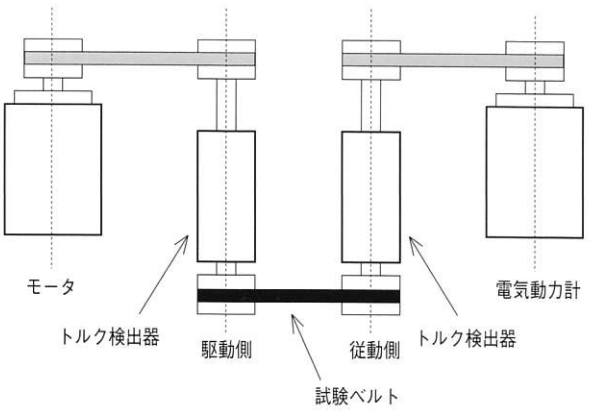


図１　伝達効率測定方法

伝達効率は次式で求められる。

$$\eta\,\% = \frac{\text{従動側トルク}\times\text{従動側回転数}}{\text{駆動側トルク}\times\text{駆動側回転数}}\times 100$$

ベルトの種類によって当該値は変化するが、一般的には適正張力下において90～98%とされる。

3. 摩擦伝動ベルトの動力損失

3.1　有効張力

ベルトが動力を伝えるという行為を行う際に、プーリを挟んで張力の差が生じる。この張力の差を有効張力といい、伝達される動力をベルト速度で割ったものでこのプーリを回転させるために必要な張力のことをいう。図-2ベルト張力図参照

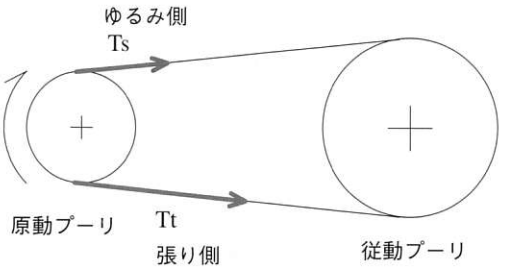


図２　ベルト張力

$Te = Tt - Ts = 1000P/V$
(1kW=1000N·m/s)
P (kW)：動力
Tt：張り側張力
Ts：ゆるみ側張力
Te：有効張力
V：ベルト速度

3.2　伝動容量式

基本的な摩擦伝動ベルトの伝動容量式の考え方は以下の式で表せることができる。

$$Prs = \frac{V}{1000}(Ta - Tb - Tc)\times\frac{e^{\mu'\theta}-1}{e^{\mu'\theta}}$$

Prs＝基準伝動容量 (kW)
Ta＝ベルト許容最大張力
Tb＝曲げ張力

Tc ＝遠心張力
μ'＝ベルト摩擦係数
θ＝ベルト接触角度

つまり、あるベルトが有する最大許容張力という実力値と、そのベルトがあるプーリを回転させるために発生する張力を、そのベルトが有する許容可能な伝動容量の100%効率と考え、そこから発生する動力損失を差し引いたものが一般的な伝動容量式になっている。

4. 摩擦ベルトの動力損失

先述通り、摩擦ベルトの伝動効率が100%に到達し得ない理由として以下が挙げられる。
下図-3「摩擦伝動におけるエネルギー損失」参照

このうち「ベルト弾性スリップによる損失」は摩擦伝動においては避けられないものである。また、「振動による損失」、「遠心張力による損失」についてもゼロにすることは不可能である。「側圧変化による損失」は、ベルト剛性をあげることで回避できるが、動力伝達下における支配度は非常に小さい。「軸摺動抵抗等による損失」はメカニカルロスであり、ベルトと切り離して考えるため、今回は触れない。

当該「省エネパワーエース」は、標準ベルトに対し、同一形状でノッチ加工することにより、残る「ベルト曲げによる損失」を低減させることで動力損失を軽減させる効果をベルト側から提案できるものである。

5. 省エネパワーエース

5.1 構造概要

まず、標準パワーエースと省エネパワーエースの構造を以下図-4パワーエース、図-5省エネパワーエースに示す。

当該パワーエースは、一般に細幅Vベルトと呼ばれ、汎用的に用いられるVベルトに比べ高負荷伝動用として歴史あるベルトで、RMA等の規格に規定されている。ベルトは、ゴム部材に合成ゴムを使用し外皮布で覆われている。使用プーリとともに汎用性に優れること、Vベルトに比べ掛け本数が少なくなることから、幅広い分野で利用されている。

一方、省エネパワーエースは、前述パワーエースの底ゴム部にノッチ加工を施すことにより前者比、高効率性、耐久性に改良がなされている。

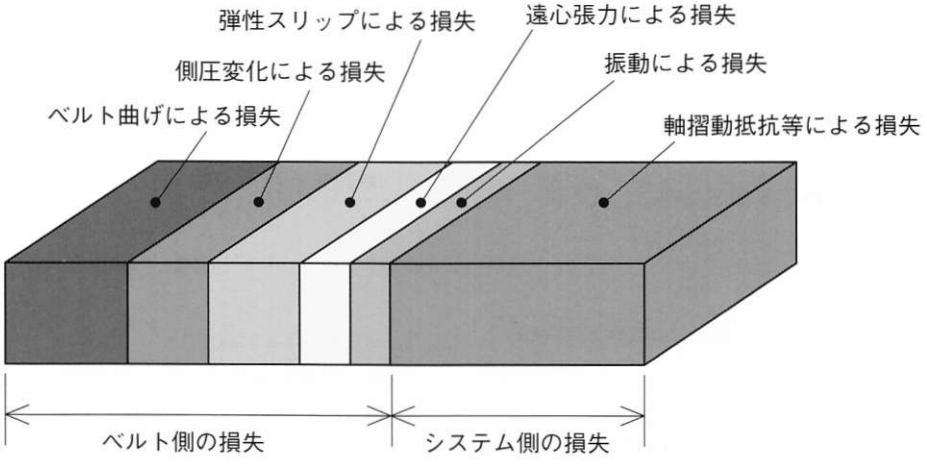


図3 摩擦伝動におけるエネルギー損失

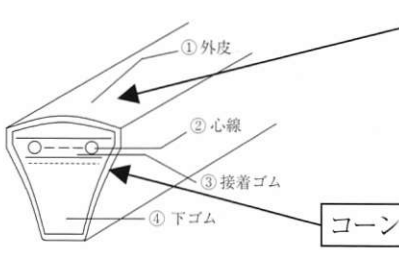


図4 パワーエース

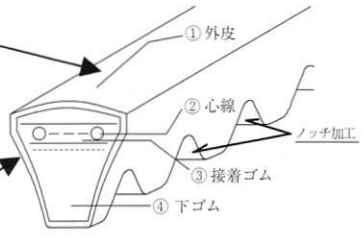


図5 省エネパワーエース

5.2　ノッチ形状

省エネパワーエースのノッチ形状は、ベルトの寿命、省エネ性を考慮し、有限要素法によりそのピッチ、ノッチ底R形状、ノッチ角度、ノッチ深さを検討し、パワーエース本来の特長である、アーチドトップ、コーンケーブサイドウォールという高負荷伝動に有利となる形状効果特性をそのまま維持可能とした最適ノッチ形状となっている。図-6 有限要素法モデル、写真1 ベルト実写真参照。

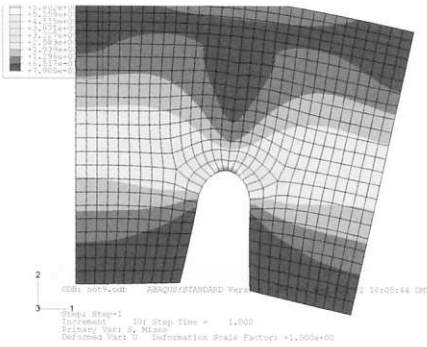


図6　有限要素法モデル

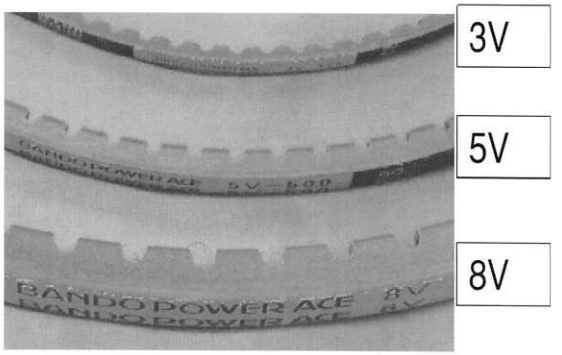


写真1：ベルト実写真

5.3　ベルト伝達効率

先述通り、ノッチ加工を施したことによりベルトの曲げ剛性を低減し、伝動効率が向上した。ベルト曲げ剛性と伝達効率を比較したグラフを以下図-7ベルト曲げ剛性比較と、図-8 ベルト伝達効率に示す。

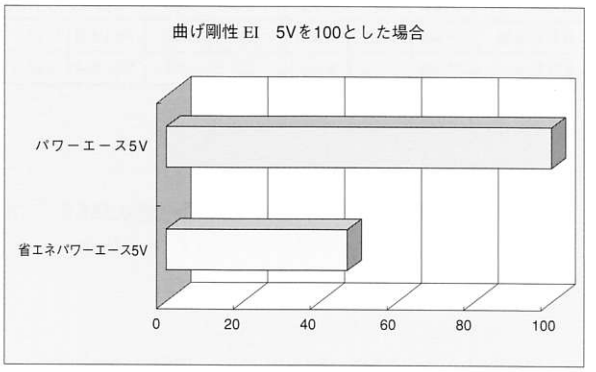


図7　ベルト曲げ剛性比較

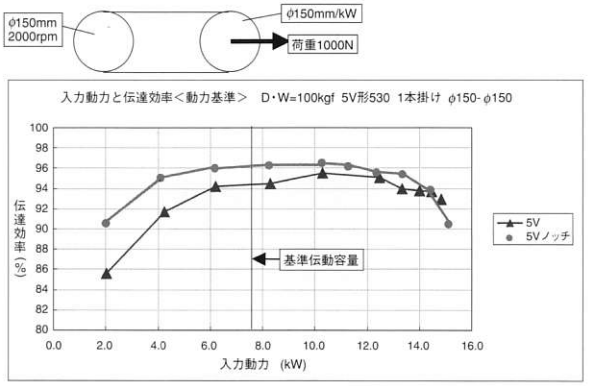
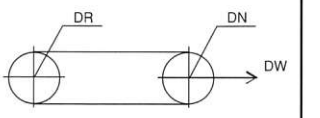


図8　ベルト伝達効率

5.4　耐久性

ノッチ加工により屈曲による発熱と放熱作用によりベルト自己発熱温度を軽減でき、耐熱屈曲性が向上した。また、この効果は、プーリ径が小さくなるほど顕著となる。以下表1に耐久評価条件、図9に3Vの寿命指数比較、図10に3Vベルト発熱温度結果、図11に5V寿命指数比較、図12に5Vベルト発熱温度結果を示す。

表1　耐久評価条件

		正曲げ条件	
レイアウト			
条件			
タイプ		3V	5V
駆動、従動プーリピッチ径	mm	φ85	φ150
駆動軸回転数	min-1	1800	1800
負荷	kW	2.9	14.7
荷重 (DW)	kgf	100	230
試験ベルトサイズ		3V−425	5V−500

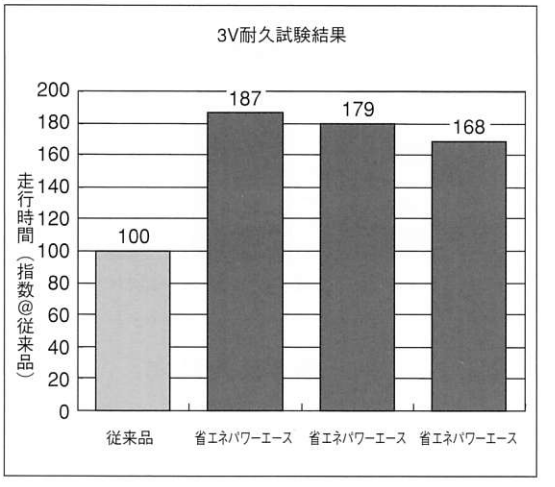


図9　3V寿命指数比較

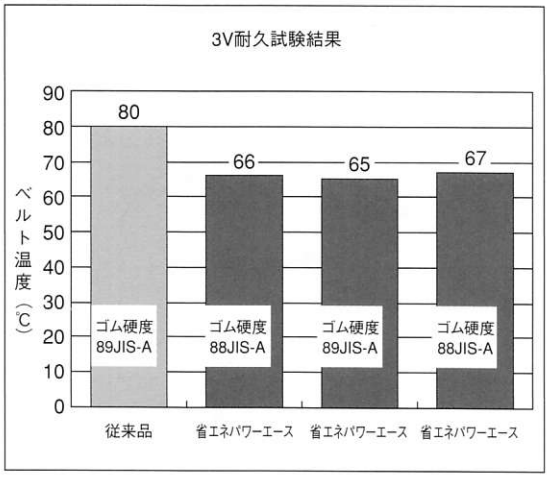


図10　3V 発熱温度比較

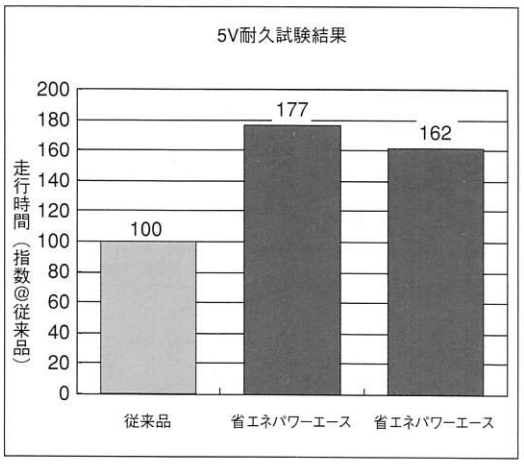


図11　5V 寿命指数比較

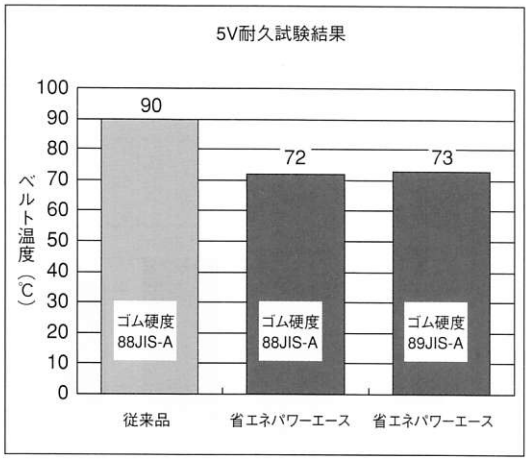


図12　5V 発熱温度比較

5.5　省エネルギー性

省エネルギー性について台上、及び実機にて確認した結果、効果は以下のように確認できている。台上検証結果を図13に示す。曲げロス低減効果による省エネルギー性の為、プーリ径が小さい程有利となる。

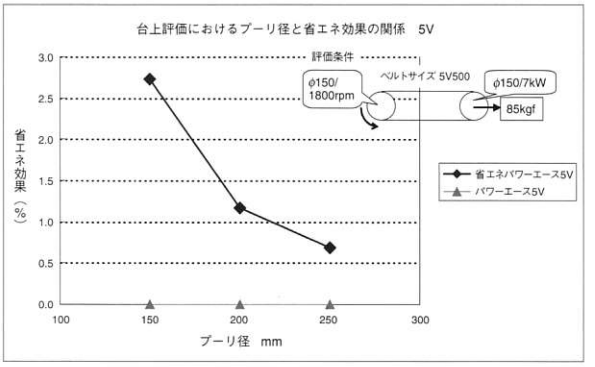


図13　省エネルギー効果確認（台上検証結果）

一方、実機モニターでは図14モニター結果のようにパワーエース比、約0.8～5.0%の省エネルギー効果が確認された。

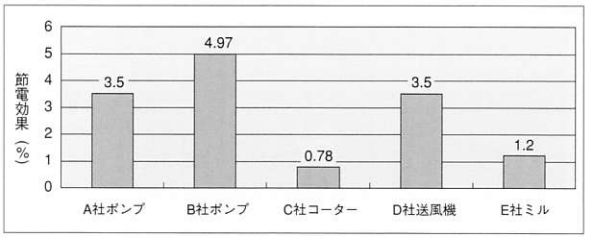


図14　実機モニター結果

当該結果をまとめると表2に示す推定効果になる。

表2　推定効果

	原動機	節電効果(%)	推定年間電力削減量(kW)	稼動時間(hrs/day)	年間稼動日数	削減費用	CO_2削減量(kg)
A社ポンプ	7.5 kW	3.5	1341	14	365	￥17,438	480.2
B社ポンプ	11 kW	4.97	3346	17	360	￥43,495	1197.8
C社コーター	30 kW	0.78	2022	24	360	￥26,283	723.8
D社送風機	11 kW	3.5	3326	24	360	￥43,243	1190.9
E社ミル	55 kW	1.2	5300	22	365	￥68,897	1897.3

注記）① 電気料金は13円/年と仮定

② CO_2換算係数は、関西電力使用値0.358を引用

実機においてもプーリ径が小さいアプーリケーションでその効果は大きくなる結果である。

6. 跋　文

省エネパワーエースは、パワーエースに対し同一形状プーリにおいて使用できるため、ベルトタイプを変更する等、運用費を低減でき、比較的手軽にエネルギー損失を削減できる。

今後も伝動ベルトにおける省エネルギー対応技術を向上させることは、現状世界をとりまく環境を考えると極めて重要であることから、更なる製品開発を行うことが重要な使命であると考える。

参考文献

1) 中村交成：機械設計2005年4月別冊主要機械要素選定ガイド 「省エネルギー対応伝動ベルトの技術動向」
2) ベルト伝動技術懇話会編：ベルト伝動の実用設計、養賢堂、1996)

2006

11

11月

- 神戸市/ポートアイランドにおいて新社屋の建設に着工
- 大型FPD基板印刷対応の「バンドースキージーDタイプ」を開発

2007

1

1月

- 福井ベルト工業株式会社を100%出資の子会社化

2

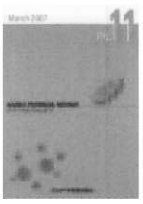
2月

- 軽搬送用ベルト（サンラインベルト）FMSシリーズの新タイプ（重負荷対応用）を開発

3

3月

- 「バンドーテクニカルレポートNo.11」を刊行



4

4月

- 法務機能のさらなる充実と強化を図るため「法務部」を新設
- 「第17回フラットパネルディスプレイ研究開発・製造技術展」に出展（東京ビッグサイト）

- バンドー技術塾（Bando Institute of Technology）を開講
- 2005年7月に南海工場がゴム産業界ではじめて「労働安全衛生マネジメントシステム」を認証取得したのに続き、国内の残りの4工場（和歌山工場、神戸工場、足利工場、加古川工場）についても認証を取得

5

5月

- 新中期経営計画“DOING MORE on the new frontier”を発表

6

6月

- 「バンドー省エネパワーエース」の販売を開始 (P.60ご参照ください)
- 代表取締役社長の交代（谷 和義が新社長として就任）

8

8月

- 「環境報告書2007」を発行（当社インターネット・ホームページに掲載） (P.60ご参照ください)

10

10月

- 神戸市/ポートアイランドに「本社事業所」を竣工 (P.60ご参照ください)

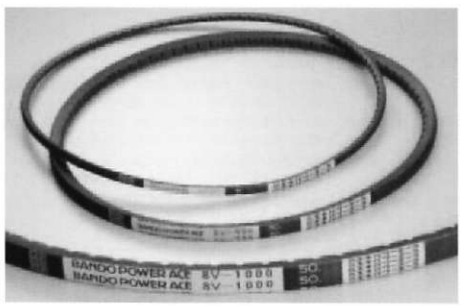
11

11月

- バンコランベアリングの新製品（耐寒タイプ、抗菌・防カビタイプ、耐湿熱タイプ、帯電防止タイプ）の販売を開始

2007.6 「バンドー省エネパワーエース」の販売を開始

当社では、“省エネと環境”をキーワードに深刻化する環境負荷を少しでも軽減する製品の開発および市場開拓に積極的に取り組んでおります。その取り組みの一環として、既に空調機器を中心に省エネ（節電）によるCO_2削減に貢献しているバンドーレッドの省エネタイプである「バンドー省エネレッド」に続いて、この度バンドーレッドよりもコンパクト・高速運転・高動力伝動・長寿命が特長のバンドーパワーエースの省エネタイプである『バンドー省エネパワーエース』を開発し、販売を開始いたしました。



2007.8 「環境報告書2007」を発行

2006年度の環境保全活動への取り組み実績をまとめた「環境報告書2007」を発行しました。当報告は今回で第7回目となり、環境会計、生産部門での取り組みや、「環境」「省エネ」をキーワードに展開する製品開発活動・製品などを紹介しております。

詳細は当社ホームページにてご覧いただけます。
（トップページ<www.bando.co.jp>より「環境保全への取組み」に進んでください）

2007.10 神戸市/ポートアイランドに「本社事業所」を竣工

2006年11月より神戸市/ポートアイランドにおいて建設を進めておりました本社事業所が完成し、2007年10月2日に神戸市や設計・施工会社の代表者にご参加いただき、竣工式を執り行いました。本社事業所には、本社機能と研究開発機能の連携強化を図るべく、本社事務所、R&Dセンター、生産技術センターおよび開発事業部が移転いたしました。

国内事業所

本社事務所　神戸市中央区港島南町4丁6番6号　〒650-0047
TEL(078)304-2923　FAX(078)304-2981

生産技術センター　神戸市中央区港島南町4丁6番6号　〒650-0047
TEL(078)304-2923　FAX(078)304-2981

R&Dセンター　神戸市中央区港島南町4丁6番6号　〒650-0047
TEL(078)304-2923　FAX(078)304-2981

営業本部　東京都港区芝4丁目1番23号（三田NNビル）〒108-0014
TEL(03)5484-9111　FAX(03)5484-9112

企画開発部　大阪市北区梅田2丁目5番25号（梅田阪神第一ビルディング ハービスOSAKA）〒530-0001
TEL(06)6345-2636　FAX(06)6345-2677
E-mail : eihatu@bando.co.jp

東京支店　東京都港区芝4丁目1番23号（三田NNビル）〒108-0014
TEL(03)5484-9111　FAX(03)5484-9112
E-mail : tokyo@bando.co.jp
直需営業部　TEL(03)5484-9100　FAX(03)5484-9106
AMP営業部　TEL(03)5484-9114　FAX(03)5484-9108
MMP営業部　TEL(03)5484-9104　FAX(03)5484-9110
流通営業部　TEL(03)5484-9102　FAX(03)5484-9107

名古屋支店　名古屋市中村区名駅3丁目25番3号（大橋ビルディング）〒450-0002
TEL(052)582-3251　FAX(052)586-4681
E-mail : nagoya@bando.co.jp
AMP営業部　TEL(052)582-3254　FAX(052)586-4681
流通営業部　TEL(052)582-3257　FAX(052)586-4681

大阪支店　大阪市北区梅田2丁目5番25号（梅田阪神第一ビルディング ハービスOSAKA）〒530-0001
TEL(06)6345-2631　FAX(06)6345-7752
E-mail : osaka@bando.co.jp
直需営業部　TEL(06)6345-2638　FAX(06)6345-7752
AMP営業部　TEL(06)6345-2639　FAX(06)6345-8273
MMP営業部　TEL(06)6345-6121　FAX(06)6345-7750
流通営業部　TEL(06)6345-2633　FAX(06)6345-8273

化成品事業部　大阪市北区梅田2丁目5番25号（梅田阪神第一ビルディング ハービスOSAKA）〒530-0001
TEL(06)6345-2671　FAX(06)6345-2615
販売部　TEL(06)6345-2671　FAX(06)6345-2615
E-mail : o.kasei@bando.co.jp

開発事業部　神戸市中央区港島南町4丁6番6号　〒650-0047
TEL(078)304-2923　FAX(078)304-2981

運搬・建設資材事業部　兵庫県加古川市平岡町土山字コモ池の内648（加古川工場内）〒675-0104
TEL(078)942-3232　FAX(078)942-3389

加古川工場　兵庫県加古川市平岡町土山字コモ池の内648　〒675-0104
TEL(078)942-3232　FAX(078)942-3389

伝動事業部　大阪府泉南市男里5丁目20番1号（南海工場内）〒590-0526
TEL(072)482-7711　FAX(072)482-1173

南海工場　大阪府泉南市男里5丁目20番1号　〒590-0526
TEL(072)482-7711　FAX(072)482-1173

和歌山工場　和歌山県紀の川市桃山町最上1242番地5　〒649-6111
TEL(0736)66-0999　FAX(0736)66-2152

伝動技術研究所　和歌山県紀の川市桃山町最上1242番地5　〒649-6111
TEL(0736)66-1931　FAX(0736)66-1934

MMP事業部　栃木県足利市荒金町188番6（足利工場内）〒326-0832
TEL(0284)72-4121　FAX(0284)72-4426

神戸工場　神戸市兵庫区明和通3丁目2番15号　〒652-0883
TEL(078)651-6691　FAX(078)651-8979

足利工場　栃木県足利市荒金町188番6　〒326-0832
TEL(0284)72-4121　FAX(0284)72-4426

バンコラン部　兵庫県加古川市平岡町土山字コモ池の内648　〒675-0104
TEL(078)942-6065　FAX(078)942-6081

国内関係会社

■販売・加工サービス関係会社

北海道バンドー株式会社　札幌市豊平区月寒中央通2丁目2番22号　〒062-0020
TEL(011)851-2146　FAX(011)852-6992

バンドー福島販売株式会社　福島県いわき市平字愛谷町4丁目6番地13　〒970-8691
TEL(0246)22-2696　FAX(0246)21-3767

東日本バンドー株式会社　東京都中央区築地2丁目3番4号（築地第一長岡ビル）〒104-0045
TEL(03)3544-8111　FAX(03)3544-8118

バンエ業用品株式会社　東京都中央区東日本橋2丁目27番1号　〒103-0004
TEL(03)3861-7411　FAX(03)3866-4792

浩洋産業株式会社　東京都台東区柳橋2丁目19番6号（秀和柳橋ビル）〒111-0052
TEL(03)3865-3644　FAX(03)3865-3603

株式会社バンテック　東京都港区芝4丁目1番23号（三田NNビル）〒108-0014
TEL(03)5484-9130　FAX(03)5484-9131

北陸バンドー販売株式会社　富山県富山市問屋町3丁目2番19号　〒930-0834
TEL(0764)51-2525　FAX(0764)51-8148

大阪バンドーベルト販売株式会社　大阪市淀川区西中島5丁目14番5号（新大阪イトーキ・日生ビル）〒532-0011
TEL(06)4806-7101　FAX(06)4806-2201

株式会社近畿バンドー　大阪市都島区毛馬町2丁目10番1号　〒534-0001
TEL(06)4253-3160　FAX(06)4253-3531

バンドーエラストマー株式会社　神戸市兵庫区明和通3丁目3番17号（バンドーグループファクトリー神戸）〒652-0883
TEL(078)652-5650　FAX(078)652-5670

中国バンドー株式会社　広島県廿日市市下平良1丁目6番11号　〒738-0023
TEL(0829)32-1211　FAX(0829)32-1541

九州バンドー株式会社　福岡市東区多の津1丁目4番2号　〒813-0034
TEL(092)622-2875　FAX(092)622-2880

■製造関係会社

福井ベルト工業株式会社　福井県福井市下江守町23字山花1番地7　〒918-8037
TEL(0776)36-3100　FAX(0776)36-4038

バンドー精機株式会社　神戸市兵庫区明和通2丁目2番15号　〒682-2600
TEL(078)651-0512　FAX(078)682-2601

ビー・エル・オートテック株式会社　神戸市兵庫区明和通3丁目3番17号（バンドーグループファクトリー神戸）〒652-0883
TEL(078)682-2611　FAX(078)682-2614

バンドー・ショルツ株式会社　兵庫県加古川市平岡町土山字コモ池の内648番地　〒675-0104
TEL(078)943-3933　FAX(078)943-4640

■その他サービス関係会社

バンドートレーディング株式会社　神戸市兵庫区水木通7丁目1番18号（バンドー大開ビル北館）〒652-0802
TEL(078)577-6751　FAX(078)577-9465

バンドー興産株式会社　神戸市兵庫区水木通7丁目1番18号（バンドー大開ビル北館）〒652-0802
TEL(078)576-5353　FAX(078)577-6553

バンドーコンピューターシステム株式会社　神戸市兵庫区明和通3丁目2番15号　〒652-0883
TEL(078)652-2497　FAX(078)652-2897

西兵庫開発株式会社（千草カントリークラブ）　兵庫県宍粟市千種町鷹巣24番地2　〒671-3212
TEL(0790)76-3333　FAX(0790)76-3310

海外関係会社

北米地域

Bando USA, Inc.
〈Corporate Office〉
1149 West Bryn Mawr, Itasca, Illinois 60143, U.S.A.
TEL 1-630-773-6600 FAX 1-630-773-6912
〈Bowling Green Plant〉
2720 Pioneer Drive, Bowling Green, Kentucky 42102-4860, U.S.A.
TEL 1-270-842-4110 FAX 1-270-842-6139

欧州地域

Bando Kockaya Belt Manufacturing (Turkey), Inc.
Ihasan Dede Cad. 1000 Sokak, Gebze Organize Sanayi Bolgesi,
41480 Gebze, Kocaeli, TURKEY
TEL 90-262-751-1691 FAX 90-262-751-1698

Bando Europe GmbH
Nikolaus Strasse 59, D-41169 Moenchengladbach, FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY
TEL 49-2161-90104-0 FAX 49-2161-90104-50

Bando Iberica, S.A.
Calle Francesc Layret, 12-14, Naves 4-5, Poligono Industrial Sant Ermengol II,
08630 Abrera, (Barcelona), SPAIN
TEL 34-93-7778740 FAX 34-93-7778741

アジア地域

Bando Jungkong Ltd.
4Ba-705 (Shihwa Indus. Zone, Mechatronics Complex), Songgok-Dong, Ansan City,
Kyongki-Do, REPUBLIC OF KOREA
TEL 82-31-432-9800 FAX 82-31-432-8198

Bando Korea Co., Ltd.
869-1,Eogok-Dong, Yang San City, Gyung Sang Nam-Do, 626-220 REPUBLIC OF KOREA
TEL 82-55-371-9200 FAX 82-55-388-0087

Bando Belt (Tianjin) Co., Ltd.
No. 37 of HaiTong Avenue, TEDA, Tianjin, 300457, CHINA
TEL 86-22-6623-7077 FAX 86-22-6623-7036

Bando Manufacturing (Shanghai) Co., Ltd.
Rm. B, First Floor, Block 56, No.199, Riying North Road, Wai Gao Qiao
Free Trade Zone, Pudong District, Shanghai, CHINA 200137
TEL 86-21-5046-0161 FAX 86-21-5046-0649

Bando Manufacturing (Dongguan) Co., Ltd.
Building ZF8, ZhenAn Industrial Park, ZhenAn Road, ChangAn Town,
DongGuan City,GuangDong Province, CHINA
TEL 86-769-8564-5075 FAX 86-769-8564-5081

Bando Siix Ltd.
Room 2210, Shun Tak Centre, West Tower, 200 Connaught Road Central,
HONG KONG
TEL 852-2494-4815 FAX 852-2481-0444

Sanwu Bando Inc.
11Fl-2, No.51, Sec.1, Min Sheng E. Road, Taipei, TAIWAN
TEL 886-2-2567-8255 FAX 886-2-2567-2710

Philippine Belt Manufacturing Corp.
2nd Floor, Siemkang Building, 280-282 Dasmarinas Street, Binondo,
Manila 1099, PHILIPPINES
TEL 63-2-241-0794 FAX 63-2-241-3279

Bando Manufacturing (Thailand) Ltd.
47/7 Moo 4, Soi Watbangpla,Tambol Bankao, Amphur Muang, Samutsakorn,
74000, THAILAND
TEL 66-3446-8422 FAX 66-3446-8415

Pengeluaran Getah Bando (Malaysia) Sdn. Bhd.
No.2, Jalan Sengkang, Batu 22, Kulai 81000, Kulai, Johor, MALAYSIA
TEL 60-7-663-5021 FAX 60-7-663-5023

Kee Fatt Industries, Sdn. Bhd.
No.2, Jalan Sengkang, Batu 22, Kulai 81000, Kulai, Johor, MALAYSIA
TEL 60-7-663-9661 FAX 60-7-663-9664

Bando (Singapore) Pte. Ltd.
3C Toh Guan Road East #05-01 SINGAPORE 608832
TEL 65-6475-2233 FAX 65-6479-6261

P.T. Bando Indonesia
Jl. Gajah Tunggal, Kel. Pasir Jaya, Kec. Jati Uwung, Tangerang 15135, INDONESIA
TEL 62-21-5903920 FAX 62-21-5901274

Bando (India) Pvt. Ltd.
Plot No.255, Sector-7, IMT Manesar, Gurgaon-122050, Haryana INDIA
TEL 91-124-436-8951 FAX 91-124-436-8954

BANDO TECHNICAL REPORT No.12
バンドーテクニカルレポート

平成20年3月5日発行

編　集　バンドー化学株式会社 R&Dセンター・経営企画部
発　行　バンドー化学株式会社 経営企画部
〒650-0047 神戸市中央区港島南町4丁6番6号
TEL.078-304-2935　FAX.078-304-2984
URL http://www.bando.co.jp

無断転載を禁じます