



**金属ベルトの
設計ガイドおよび
技術者用参考資料**



Belt Technologies 社では、お客様が精密位置決め、タイミング、搬送、動力伝達、パッケージング、自動化された製造工程などの機械設備から最適性能を引き出すお手伝いをいたします。過去25年以上、弊社はユーザーのニーズに合わせ設計製作した、金属ベルト、金属テープ、およびブーリー並びその関連機器を製作しております。

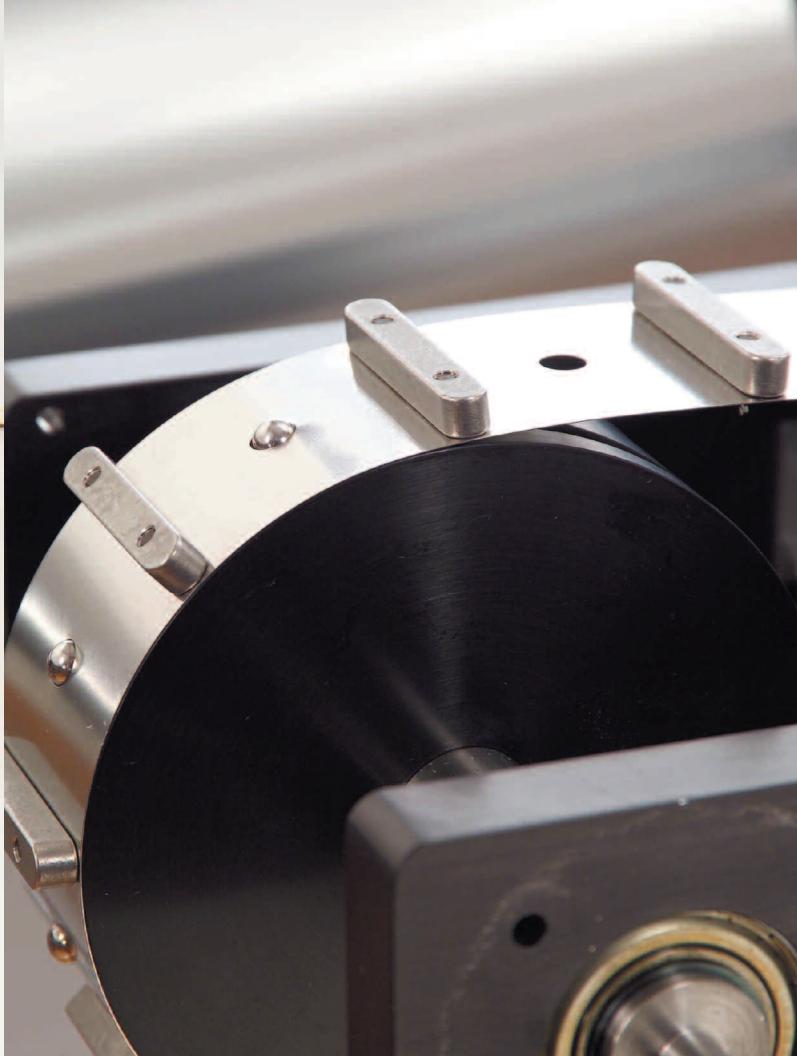
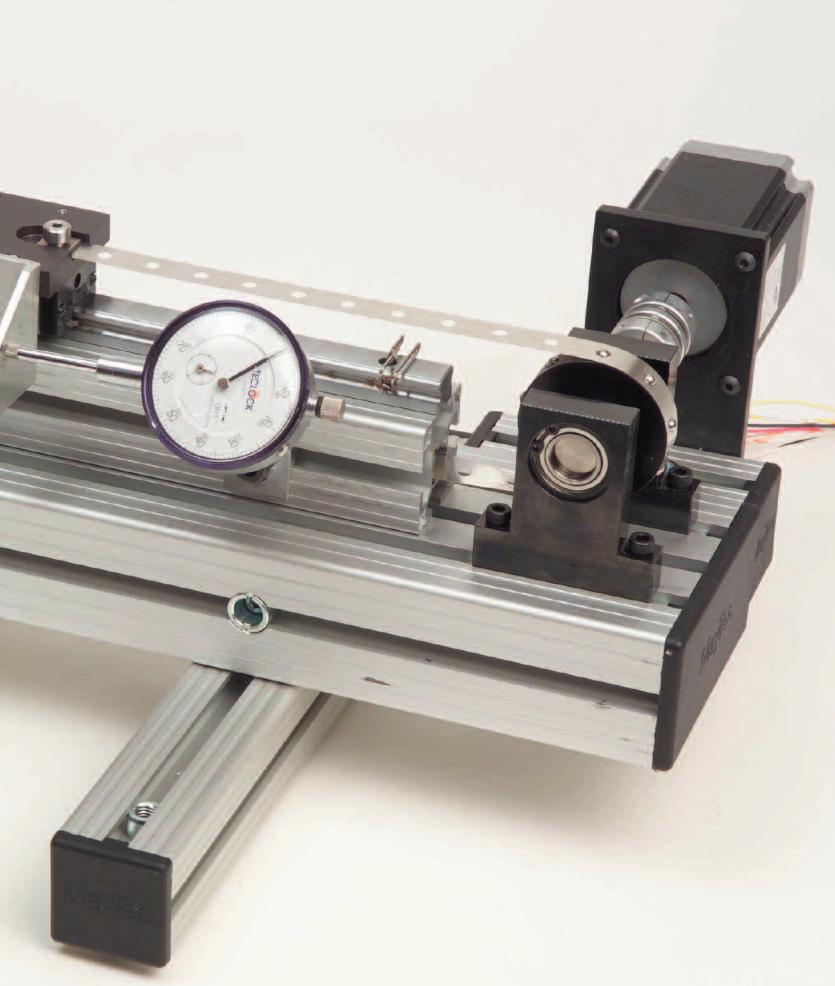
金属ベルトは多くの物理的特性を有しており、それが優れた精度、制御、耐用性等がコストパフォーマンスとなります。多くの場合、金属ベルトシステムは、他のベルトタイプ(例: ゴムやファイバーガラス製)および他の動力伝達装置、または移動制御装置(例: リニアアクチュエータ、親ネジ、チェーンなど)よりも優れた機能を持っています。また、しばしば金属ベルトしか選定出来ない事があります。

金属ベルトシステムの長所を活かせるよう Belt Technologies 社では、以下のような事項をご用意しています。

- エンジニアリングおよび設計支援
- 冶金に関する専門的アドバイス
- 高エネルギー電子ビーム使用の製作
- 冶具の設計から製作まで一貫対応

弊社の空調制御された工場施設は、金属ベルト、駆動テープ、およびそれらに合わせたブーリーを、試作品製作から大量生産まで対応いたします。

本資料は、金属ベルトの基本設計事項の参考用として提供するものです。設計ガイドであり、設計教則本ではありません。Belt Technologies 社は、本書を基にして実際の設計を弊社に相談なく独自に実行された結果に対しては弊社は責任を負うことはできません。読者の方々は、更に詳しい情報や、非常に複雑な使用目的についてのアドバイスを必要とされる場合は弊社のエンジニアリングスタッフにご自由に連絡下さい。



目次

はじめに	3
貴社の設計に金属ベルト導入 を検討する理由	4
金属ベルト、駆動テープ、 および各種用途	5 ~ 7
プーリー	8 ~ 9
設計	
材質	
公差	
プーリーの形状	
表面処理.....	10 ~ 11
テフロン	
ネオブレンまたはウレタン	
シリコーン	
硬質アルマイト	
その他	
設計における考慮事項.....	12 ~ 23
システム設計ガイドライン	
荷重	
精度	
位置決め精度	
再現性	
ベルトラッキング	
タイミング	
引張力	
システムフレームの強さ	
逆曲げ	
片受けシャフト	
透磁率	
ベルトのたるみ	
高温環境	
ベルトのクリープ	
設計要因による制約	
ベルトの寿命	
付録: 材質	22, 23
金属ベルト設計 チェックリスト	裏表紙内側

はじめに

Belt Technologies社 では、エンジニアの方々に金属ベルトの設計および用途の基本を解説する参考資料として、本設計ガイドを作成いたしました。本書で取り上げています主な内容は以下のとおりです。

- 貴社の設計に金属ベルト導入を検討する理由
- 金属ベルト、駆動テープ、および各種用途
- プーリー
- 表面処理
- 設計における考慮事項
- ベルトの寿命
- 金属ベルト材質（付録）

本書に記載の諸事項が、皆様に金属ベルトの多くのメリットをご理解いただく一助となり、必要な基本事項としてお役に立てることを希望しております。

個々のお客様はそれぞれ異なるニーズをお持ちの為、Belt Technologies 社では、各々の製品をそれぞれ特別の仕様で設計しています。従いまして、本設計ガイドも可能性のあるすべての用途をカバーできるものではないことをご承知願います。

是非 Belt Technologies社 に連絡をいただき、皆様のアイデアを弊社のエンジニアリングスタッフと打ち合わせて下さい。その際は、皆様の計画に対し、弊社の理解の一助となりますよう、本書の裏表紙内側にありますデザインチェックリストのご利用をお願いいたします。弊社の長年にわたり蓄積されたノーカウは、今後益々金属ベルトの応用工学を発展させ、新たなテーマを解決する可能な力として寄与する事が出来ると考えております。

第1章

特殊用途に金属ベルト導入を検討する理由

金属ベルトの仕様を決定する担当エンジニアには、他の製品や素材を使用する場合には得られないような利点があります。その幾つかの重要な特徴やメリットを以下に示します。

- 重量に比較して高い強度：これは、高強度であり軽量であること。
- 耐久性：金属ベルトは、高温や低温、厳しい環境、真空状態に長時間さらされても耐えることができます。化学物質や湿度、腐食などに対しそれぞれ独自の耐性を持つ様々な合金が使用可能です。一般的にエンジニアは、物理特性、入手可能性、コストを基にベルトの素材を選定します。
- 潤滑不要：連結金具でつながれたチェーンとは異なり、金属ベルトは一体物ですから、潤滑を必要とするような構成部品同士の摩擦が生じることはありません。これによりシステムの保守作業は軽減され、信頼性は向上し、システムはクリーンに保たれます。
- 伸びない：弾性係数の高いバネ鋼を使用する金属ベルトは、他のベルトタイプやチェーンと比較して、事実上伸張なしと言えます。これにより、金属ベルトは、精密な位置決めを必要とする高性能装置には不可欠なものとなります。
- スムーズな動作：金属ベルトは、他のベルトタイプやチェーンでよく見かけられる絃振動による脈動がありません。それ故、高精度制御システムが可能となります。
- 正確な再現可能：金属タイミングベルトは、位置間 $\pm 0.013\text{mm}$ のピッチ精度での加工が可能です。このような高い精度は、間欠動作、位置決め、加工処理設備を設計する際に、極めて有益です。

第2章

金属ベルト、 駆動テープ、 および その適用性

平坦ベルト：

平坦金属ベルトは、金属テープの両端部を溶接接合し、エンドレスベルトの形にして製作されます。宇宙計画の中から生まれた高エネルギー電子ビーム溶接技術が、極めて強度のある信頼性の高い溶接を達成いたします。平坦金属ベルトの一般的な用途として以下に挙げますと、

- ・ 搬送
- ・ ヒートシーリング
- ・ 鋳造
- ・ 印字画

穴あきベルト：

穴あきベルトは、平坦金属ベルトに精密穴あけ加工を施したもので、穴あけには機械的方式ないしは非衝撃方式が用いられます。このタイプのベルトの用途には次のものがあります。

- ・ タイミング
- ・ 往復動作の位置決め
- ・ バキューム搬送
- ・ 卷取り 搬送
- ・ 位置合せ

図 1. 平坦ベルト(加工していないベルト)

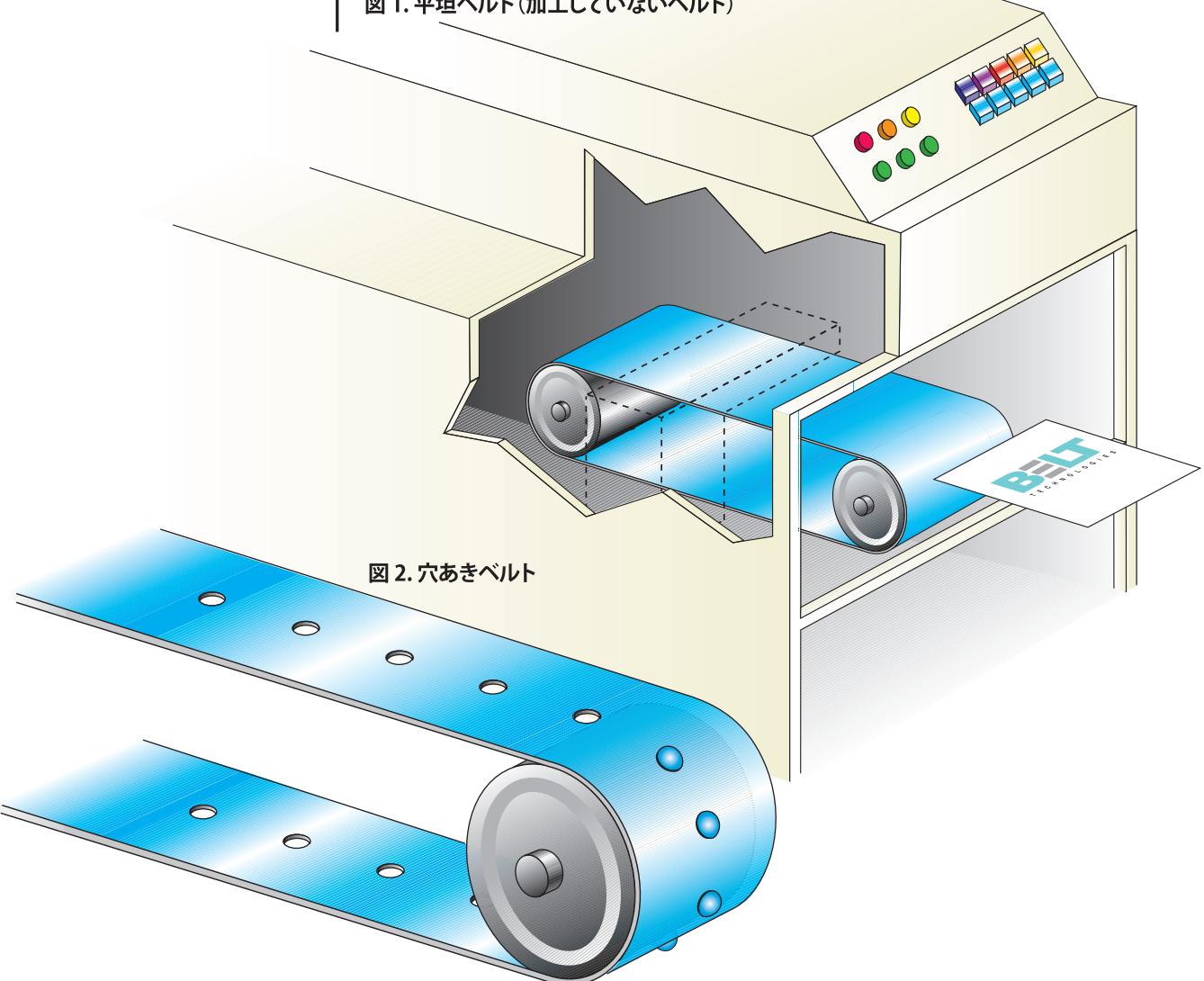


図 2. 穴あきベルト

アタッチメント付きベルト:

穴あき金属ベルトには、精密機械加工や鋳造、あるいは成形によるアタッチメントを取り付け、精密な位置決め精度と再現性を達成し、製品搬送装置として、または製造ラインでの規定の工程管理に利用できます。用途には次のものがあります。

- ・自動組立用の精密位置合せ
- ・リードフレーム駆動
- ・時限搬送ライン
- ・包装システム

駆動テープ:

金属製駆動テープは、金属ベルトと同様の高品質帯状素材から作られていますが、ベルトと違い、駆動テープはエンドレスではありません。駆動テープの両終端部には、特殊なエンドアタッチメントまたは孔が設けられています。駆動テープは以下の用途において、バックラッシュ無またはほぼゼロの動作を約束します。

- ・往復動作位置決め
- ・作図装置
- ・ロボットアーム
- ・読み取り書き込みヘッドの位置決め
- ・光学素子駆動

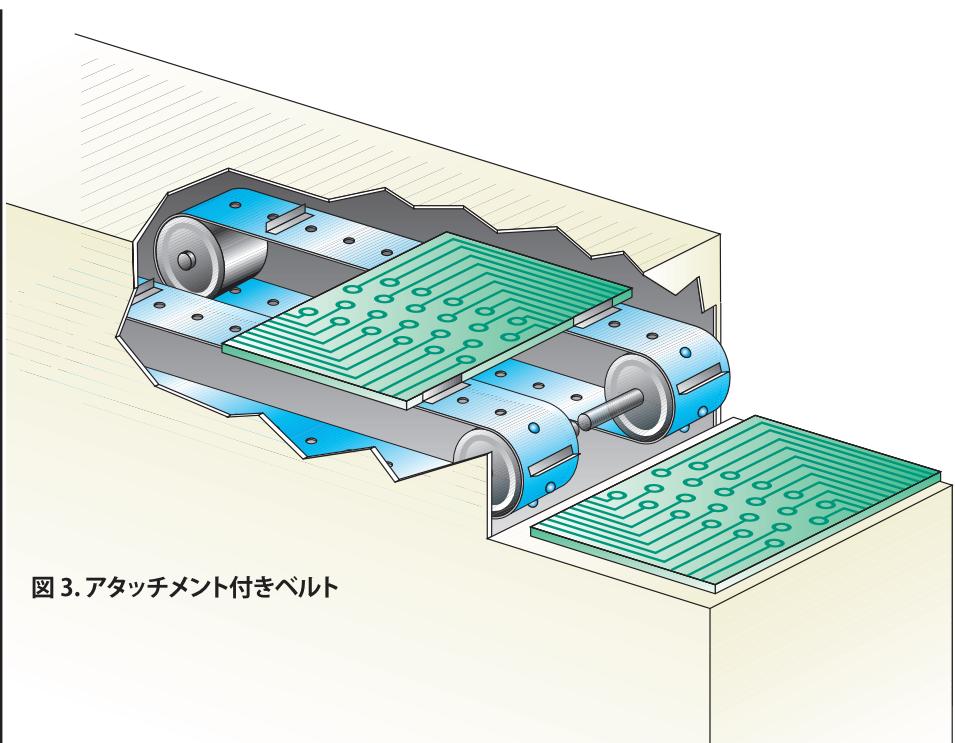


図3.アタッチメント付きベルト

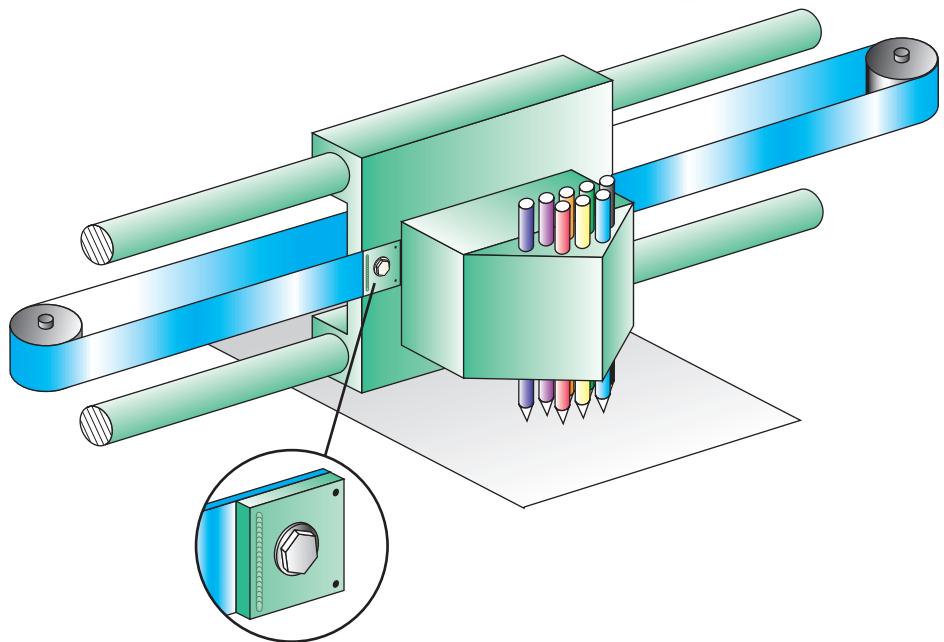


図4.駆動テープ

ベルト・テープの各種組み合わせ

システムの目的を満たすために、ベルトの各種オプションの組み合わせが必要である場合がしばしばあります。搬送中、部品を定位置に保持するために、ベルトの孔を通してバキュームをかける方式を用いながら、アタッチメントやポケットを利用して部品の位置付けを行う場合があります。アタッチメントにより部品の位置付けとタイミングの要件を満たしておいて、一方で、部品の外形に合うよう特殊のエッジ形状物を取付けたりすることもあります。用途には次のものがあります。

- ・ 時間限定した部品のネスティング(入れ子)
- ・ 部品の整列と搬送
- ・ 自動化された寸法・電気的検査
- ・ 高速自動包装装置
- ・ 切断作業

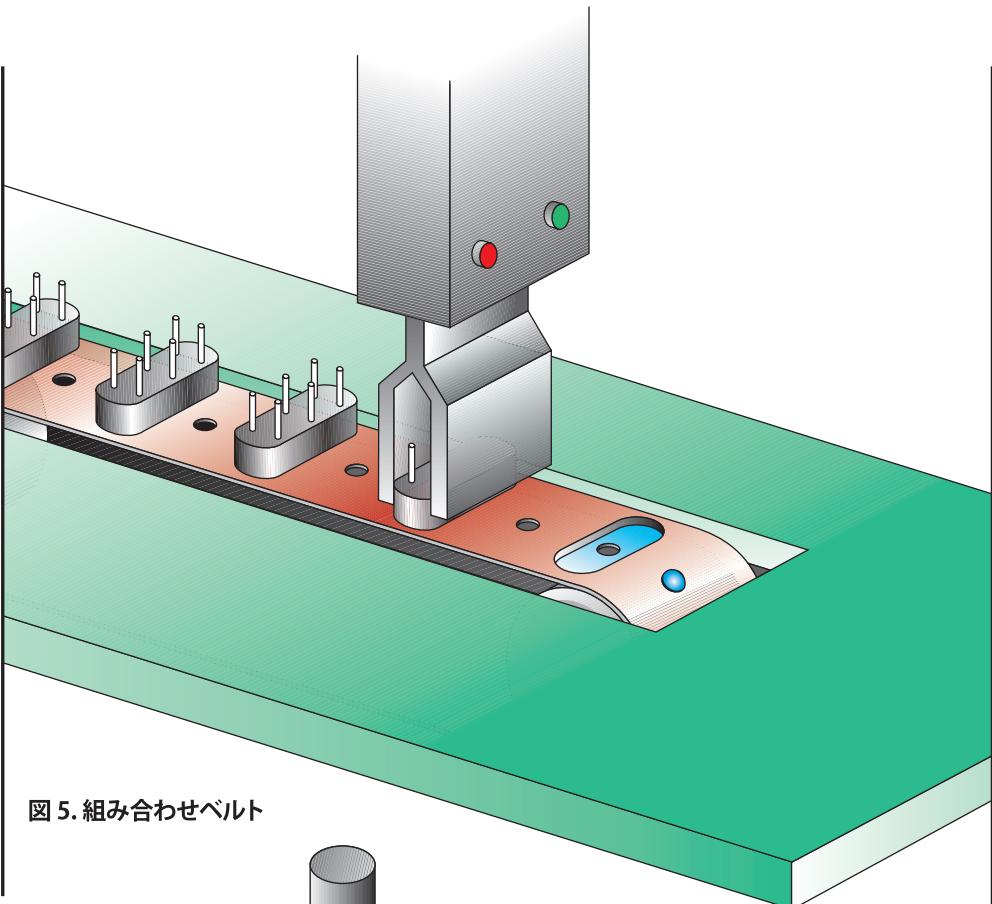
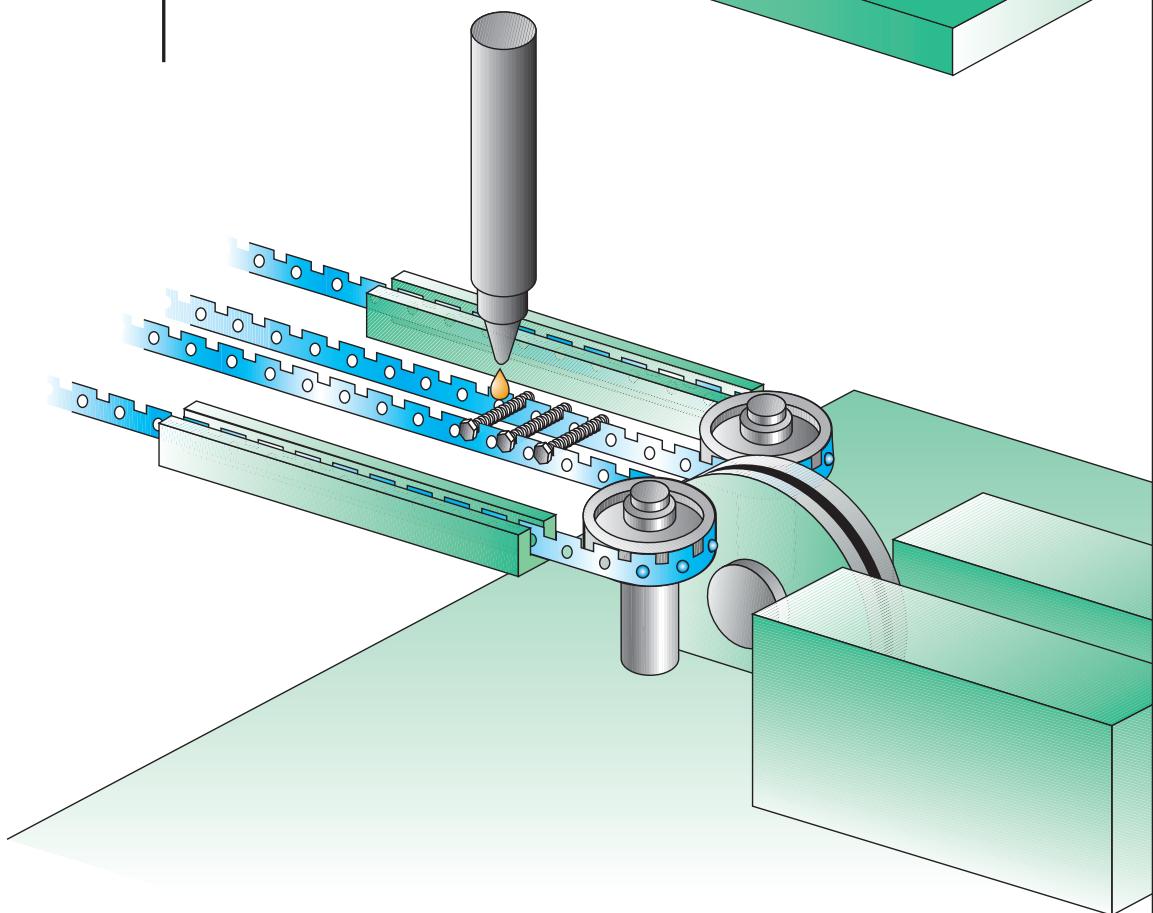


図 5. 組み合わせベルト



第3章

プーリー

金属ベルトおよび駆動テープは、いずれもプーリーの円周に沿って移動します。Belt Technologies 社では、金属ベルトの特徴を最大限に活かすカスタム設計ならびに製作を行っています。

設計:

ベルトシステムに使用されるプーリーのほとんどは、円柱形、I 形ビーム、キャップ付き円筒の 3 形態のうちのいずれかのタイプとなります。どのプーリータイプでも、駆動用突起部型タイミングポケットやリリーフチャンネル、また従来式のタイミング歯あるいは Belt Technologies 社の特許技術であるボールベアリング型タイミング歯を加えた設計が可能です。

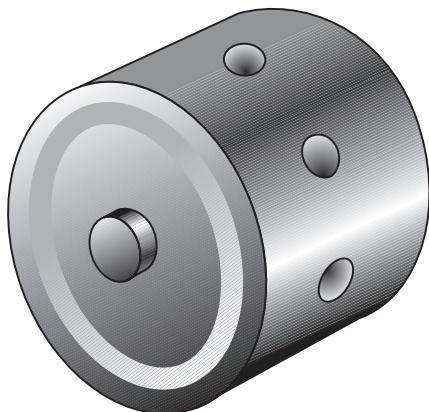
円柱形

比較的安価であるために、円柱形は大半のシステムの設計に取り入れられています。通常、円柱形プーリーは、外径150mm まで、幅 100mm までのサイズが使用されます。

I 字形(I字形鋼)

径および幅を拡大するに伴い、回転の慣性を考慮すると、I 形ビーム断面形状のプーリーが必要となってきます。I 形ビーム形状は、構造的完全性を維持しながらも、相当の重量を削り取ることで回転慣性の効果を低減するように、円柱プーリーを機械加工して成形します。プーリー巻取面に、幾つかの穴をくり抜けば、さらに重量は低減します。

図 6. ポケット(山形くぼみ)付きおよびボールベアリング埋め込みの各プーリー



キャップ付き円筒形

このタイプのプーリーは、円筒状の両端に、適切な強度を確保できるに充分な肉厚のキャップを取り付けたものです。キャップ取り付け後のアセンブリは、真円度および同心度の厳しい仕様に合うよう機械加工されます。この場合も、強度を損なうことなしに重量を削減することが非常に重要です。

素材:

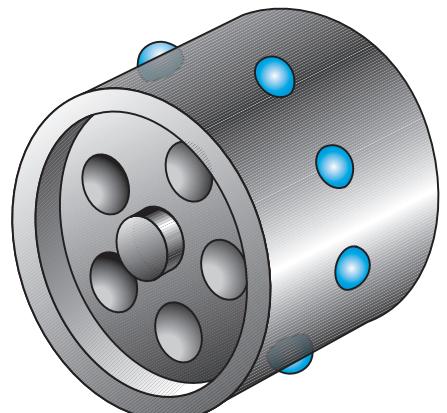
ユーザーのニーズに対応して、プーリーは広範な種類の素材から製作可能です。

アルミ

アルミに硬質アルマイト処理を施したものがよく使用されます。この組み合わせは強度があり、軽量、強靭、高コスト効率です。ただし、使用温度が制限されます。

ステンレススチール

腐食性の使用環境にあっては、ステンレススチールが最適です。またステンレススチールには、優れた耐摩耗性、そして強度という特性もあります。



使用可能な多くの異なる合金が存在し、それぞれ独特な利点があります。

非金属素材

プラスチック材の中には、優れた耐摩耗性と強度を有しているものがあります。用途によっては、また量が多い場合には、プラスチックは金属ブーリーよりもコストを低く抑えられます。

公差:

表 1 にタイミングブーリーおよび摩擦駆動ブーリーの主要設計寸法に対する標準的公差を示します。これらの公差は、円柱、I 形ビーム、キャップ付き円筒の 3 種のブーリーボディー設計に適用できます。

表 1.
最大 355mm 径までのブーリーの公差

	タイミングブーリー	摩擦ブーリー
テープサポート部の径 (外径)	± 0.025mm	± 0.051mm
ブーリー面幅	± 0.127mm	± 0.127mm
内径	+0 .025mm/-0.000mm	+0 .050mm/-0.0000mm
同心度	0.025mm	0.025mm
タイミング位置	25 秒	該当なし(N/A)

ブーリーのタイプ:

このように形状、材質、設計上の特徴により様々なブーリーがありますが、一般的にはブーリーは、摩擦駆動かタイミングのいずれか一方の役目を果たします。

摩擦駆動

摩擦駆動ブーリーは、通常はなんら加工の施されていない平滑な表面となっています。

また通常は、ブーリーにクラウン加工をすることは、お勧めいたしません。その理由についての詳細をお知りになりたい方は、金属ベルトの力学に詳しい Belt Technologies 社のエンジニアにお尋ねください。クラウン加工が適切である場合には、全体に R を持たせるものと台形の 2 通りの方式があります。全体に

R を持たせたクラウンは、ベルトへのストレス度が少ないのでですが、機械加工が難しく、それだけコストがかさみます。台形クラウンの方が、コスト効率がよく、効果もありますが、ベルトの引張荷重が大きい用途では、クラウンの角度の異なる面の間での転移点に応力が過度に集中することになるので、避ける必要があります。転移点を滑らかにすることで多少の改善は可能ですが、高応力集中部が排除されるわけではありません。

タイミング

タイミングブーリーには、ブーリー本体の外径の全周に歯ないしはポケットが付いています。歯は金属ベルトのタイミング穴にかみ合います。ポケットはベルトの内周上に施されている駆動突起部とかみ合います。このようなブーリーにあっても、動力の伝達そのものは、平坦なベルトとブーリーの表面の間に発生する摩擦力によって達成されることに注意してください。歯やポケットは、単にタイミング確保のためであり、動力伝達のためではありません。

タイミング構成部分、特にタイミング歯は、硬くなければなりません。ベルトとブーリーの継続的かみ合いによる磨耗を最小限に抑えるために、硬度は極めて重要です。例えば Belt Technologies 社が特許を保有するブーリーでは、硬化ボールベアリングを歯として使用しています。

ブーリーを 2 個使用のタイミングシステムを設計する際、タイミング構成部分は、駆動ブーリー側のみに適用すればよく、他方のブーリーには不要です。

注) 摩擦ブーリーもタイミングブーリーも、幅の狭いロールとして設計可能です。ここで幅の狭いロールとは、その上を走るベルトの幅よりも狭い幅のブーリーを指します。このタイプは、ベルトトラッキングが容易であり、ブーリーの総重量およびコストの削減となります。ブーリー面は通常、ベルト幅の 1/2 以下にはならない様にします。

第4章

表面処理

表面処理により、金属製のベルト、テープ、またはプーリーの素材表面特性を改質する事が可能です。表面処理は、ベルトやテープの片面あるいは両面に、またはプーリーに対し、施すことができます。処理方法には、コーティング、メッキ、ラミネート、および接着があります。

選択する処理方法にもよりますが、表面処理の厚さは、0.025mm といった薄いものもあります。表面は均一に、また小サイズの機械部品の搬送用に打ち抜きされたベルト表面にポケットを設けることもできます。デリケートな部品については、搬送中に所定の向きを維持し固定しておけるよう、ポケットにバキューム孔を組み合わせることも可能です。

一般的な表面処理の主要な機械特性や物理特性については、表 2. を参照してください。

テフロン®:

テフロンは調理具のこびりつかないコーティングとして家庭でなじみ深い言葉となっています。実際にはテフロンは、様々な処方があり、剥離性、潤滑性、耐摩耗性、耐熱性、色など、それぞれの特性を持っています。

表 2.
表面処理の特性

コーティング 素材	主な特長	使用 温度	厚さ	色
テフロン TFE	こびりつきにくい	上限 315°C	0.025mm	ブラック、 グリーン
テフロン FEP	耐食性 耐低温性	上限 220°C 下限 -200°C	0.025mm ~0.076mm	ブラック、 グリーン
テフロン SILVERSTONE	食品との接触 認可	上限 315°C	0.025mm ~0.15mm	メタリック グレイ
ECLIPSE	食品との接触認可 高耐摩耗性	上限 315°C	0.025mm	ブラック
テフロン-S 550	耐摩耗性の 硬質テフロン	上限 230°C	0.025mm ~0.038mm	ブラック
シリコン ゴム	優れた剥離性 耐摩擦	上限 200°C	0.15mm ~0.8mm	多様
ポリウレタン	耐摩擦 成形可能	上限 70°C	0.203mm ~3.175mm	多様
ネオプレン ゴム	伸縮性 ポケット成形可	上限 70°C	0.40mm ~6.4mm	ブラック

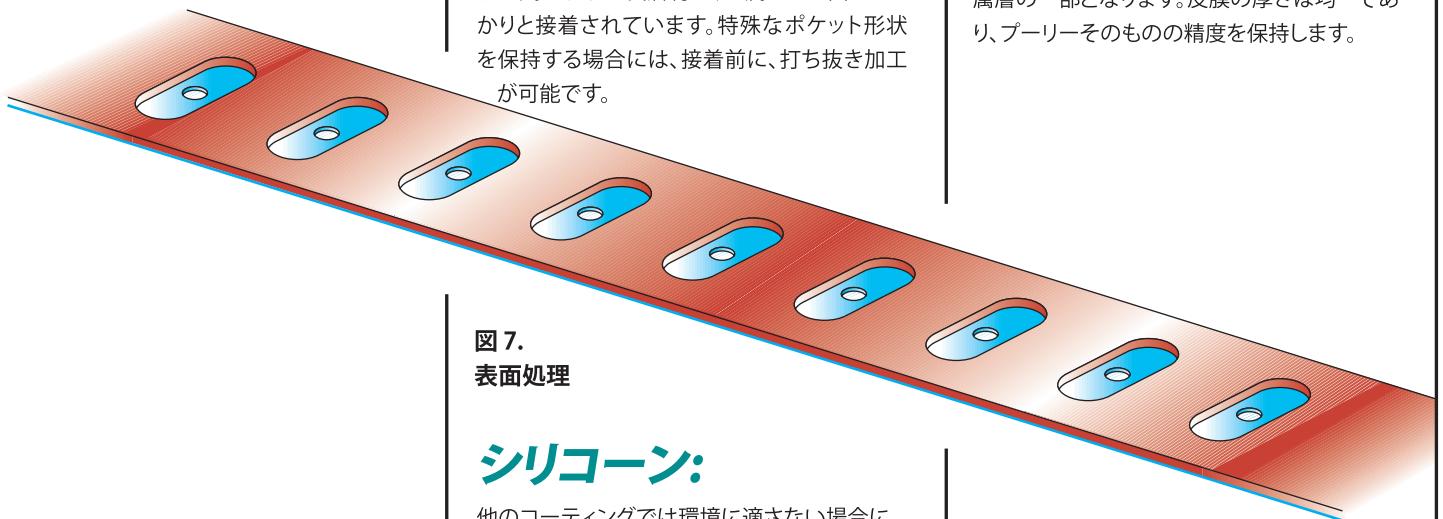


図 7.
表面処理

シリコーン:

他のコーティングでは環境に適さない場合に、シリコンなら適合することがあります。シリコンは、高い表面摩擦、高い剥離性、耐熱性、極めて高い柔軟性といったユニークな特性を有しています。シリコンを金属ベルト面に接着することは困難ではありますが、有効な解決策はあります。

硬質アルマイト:

硬質アルマイトは、電気化学処理の一種で、アルミ製ブーリーの硬度、耐摩耗性、耐腐食性を増大するために利用されています。この処理により、酸化アルミの層がブーリーの表面全体に金属層内に浸透かつ金属層上に積層し、金属層の一部となります。皮膜の厚さは均一であり、ブーリーそのものの精度を保持します。

オプション:

表面処理のオプションの幅は広く、本書ですべてに言及することはできません。特異な表面処理として、過フッ化炭化水素化合物、銅張合せ加工、金メッキ、粉末ダイアモンド接着などがあります。適切な仕様は、用途および技術により何を選定するかによります。

Belt Technologies 社のエンジニアリングスタッフは、皆様の各々のニーズに関連した問題についてのご相談を喜んでお受けいたします。

第5章

設計における考慮事項

設計者の方へ：これまでの章からの解説を基に、既に金属ベルトの設計について考え始められているのではありませんか。本章は、システムの性能を有効に発揮させる為の参考資料となります。すべての設計は固有なものですから、すべての設計の考慮事項について言及することは不可能です。皆様の設計のアイデア、数値、および方法を、Belt Technologies 社のエンジニアと一緒に再検討されてみてはいかがですか。

システム設計ガイドライン：

金属ベルトを用いたいとなるシステムでも、一般的に以下のガイドラインに従うことで機能が発揮されます。

- ・可能な限り使用するブーリー数は少なくする。
- ・ブーリーの径は大きなものを使用する。
- ・逆曲げを避けたブーリーシステムを使用する。
- ・長さと幅の比率は大きなものを使用する。

荷重：

適切なシステム設計には、使用中のベルトに伝達される各種の負荷の検討が必要です。安定した状態の稼動条件のほかに、何らかの異常で間欠した可能性や立ち上げ時の高負荷、位置割出しなどといった、異常な条件も考慮に入れる必要があります。一般的に、万が一高負荷が発生する場合にも、それがベルトの極限強さを超えることのないように、ベルトを設計する必要があります。

ベルト上の応力要因を判定するには、以下の4ステップからなる計算を実行してください。

- ・ベルト上の使用荷重を計算する。
- ・ベルト上の最大荷重を計算する。
- ・ベルト上の曲げ応力を計算する。
- ・ベルト上の合計応力を割り出す。

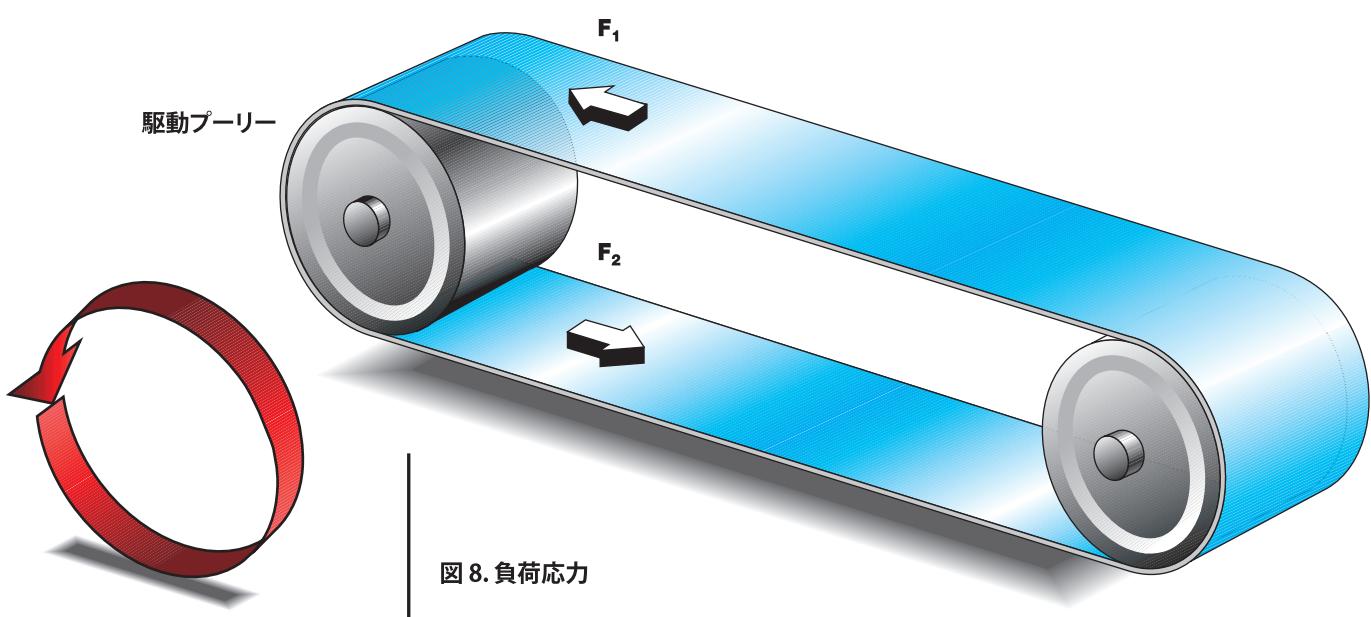


図 8. 負荷応力

1. ベルト上の使用荷重 (F_w) を計算する。

使用荷重は、駆動モーターの定格トルク、移送または加速対象の荷重、もしくはシステム要件の解析を基に算出可能です。図 8 に示すような単純なプーリー 2 個のシステムでの、ベルト上の使用荷重 (F_w) は、次の式で表わされます。

$$F_w = F_1 - F_2, \text{ ここで}$$

D_1 および D_2 = プーリーの径

τ_1 および τ_2 = 各々のプーリー上の
トルク作用

F_1 および F_2 = 各プーリー位置での
ベルトにかかる力、単位はニュートン

F_w とトルクの関係は次の式で表わされます。

$$F_w = \frac{\tau_1}{1/2D_1} = \frac{\tau_2}{1/2D_2}$$

また動力との関係は次の式により表わされます。

$$F_w = \frac{P}{V}$$

ここで V = 速度 (m/s)

P = 動力 (W)

そして加速度との関係は次の式により表わされます。

$$F = ma$$

ここで

m = 質量 (kg)

a = 荷重加速度 (M/SEC²)

2. ベルト上の最大荷重 (F_1) を計算する。

ステップ 1 のプーリー 2 個のシステムで示したように $F_w = F_1 - F_2$ ですから、 F_1 がベルト上の最大荷重となります。この力を起因とする応力条件を設計するためには、その値を計算する必要があります。

摩擦駆動システムがすべりなしに動作する場合、2 つの力、 F_1 および F_2 の関係は次の式で表わされます。

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{\mu\theta}$$

ここで：

$$e = 2.71828$$

μ = ベルトとプーリーの間の摩擦係数

θ = プーリーに対するベルトの巻き角度、単位はラジアン

F_c = ベルトにかかる遠心力

標準的仕上げ (例えば 0.4 ミクロン) の金属ベルトで、機械加工の金属プーリーを使用する場合、経験から μ の値は 0.25 ~ 0.45 の間にあります。

薄い金属ベルトの長所のひとつは、 F_c が通常取るに足らないほど小さく、無視できることです。従って、ほとんどの場合、式は次のように簡略化できます。

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\theta}$$

F_2 に代入を行い F_1 の値を求めるとき、次のようにになります。

$$F_1 = \frac{F_w e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1}$$

3. ベルト上の曲げ応力 (S_b) を計算する。

金属ベルトには、それがプーリーに対し繰り返し曲げられることで、かなりの曲げ応力が生じます。ベルトにかかる合計応力 S_t を算出するためには、この曲げ応力を計算し、許容応力 S_w に加算する (ステップ 4 参照) 必要があります。

曲げ応力の式は次のとおりです。

$$S_b = \frac{Et}{(1-u^2)D}$$

ここで

E = 弹性係数 (psi)

t = ベルトの厚み (in)

D = 最小プーリーの径 (in)

u = ポアソン比

この計算では、ベルト厚みとプーリー径の想定が必要です。設置空間の制限あるいは他の設計上の要件のために、プーリー径の方が多分決定しやすいでしょう。そうであれば、できる限り最大のプーリー径を選び、それから表 3. を基に、適切なベルト厚みを計算します。

表 3. ベルトの寿命

プーリー径 対ベルト厚み 比率	ベルトの 予想寿命
625:1	1,000,000 サイクル以上 以上
400:1	500,000
333:1	165,000
200:1	85,000
ここで関係は、プーリー 2 個の摩擦 駆動システムを基にしたものです。	

4. ベルト上の合計応力 (S_t) を割り出す。

ベルト上の合計応力は、許容応力 (S_w) と曲げ
応力 (S_b) の和です。

$$S_t = S_w + S_b$$

$$S_w = \frac{F_1}{b \times t}$$

ここで

b = ベルトの幅

t = ベルトの厚み

Belt Technologies 社では、 S_t がベルト材の降伏強さの 1/3 を超えない事をお勧めいたします。詳細については Belt Technologies 社のエンジニアにお問い合わせ下さい。

ここまで来たら、様々なパラメータを選択して、各計算手順を振り返って検討し、設計要件を満たす組み合わせを見付ける必要があります。より幅の広いベルトを使用すれば、曲げ応力を変えることなく許容応力を低減できることは、明らかです。プーリー径を大きくすれば、曲げ応力は低減しますし、また、より厚いベルトが使用できるようになります、それがさらに許容応力を低減することになります。

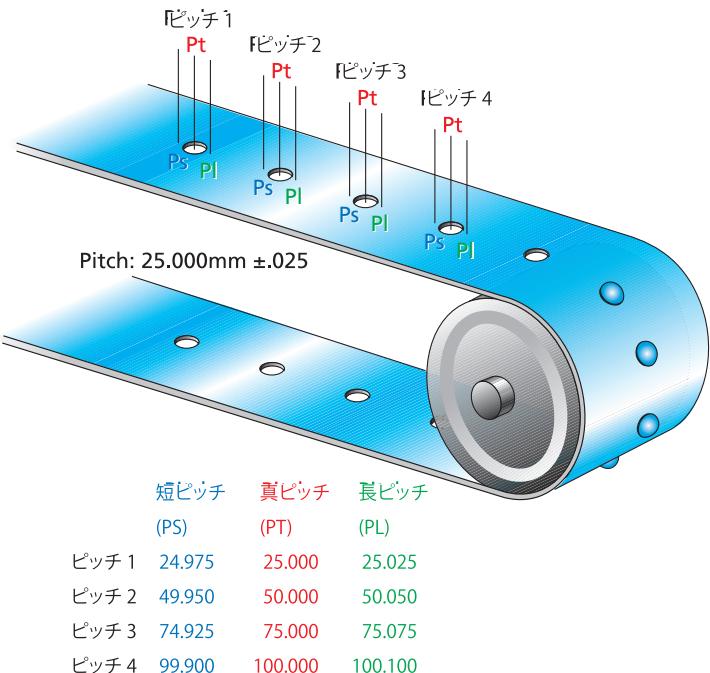
ベルト長さ精度:

金属ベルトの最も重要な長所のひとつは、その全体的精度です。穴あきベルトまたはアタッチメント付きベルトは、±0.013mm のピッチ精度で製作可能です。平坦ベルトや駆動テープも同様に、高度な精度で製作できます。

位置決め精度:

位置決め精度は、金属タイミングベルトでは通常 0.013mm といった、ベルトのピッチ公差に直接関係します。特殊工具を使用することにより、ピッチは、図 9 に PI とあるプラス側に寄るようにも、また、同図で Ps とあるマイナス側に寄るようにも加工できます。

図 9. 位置決め精度



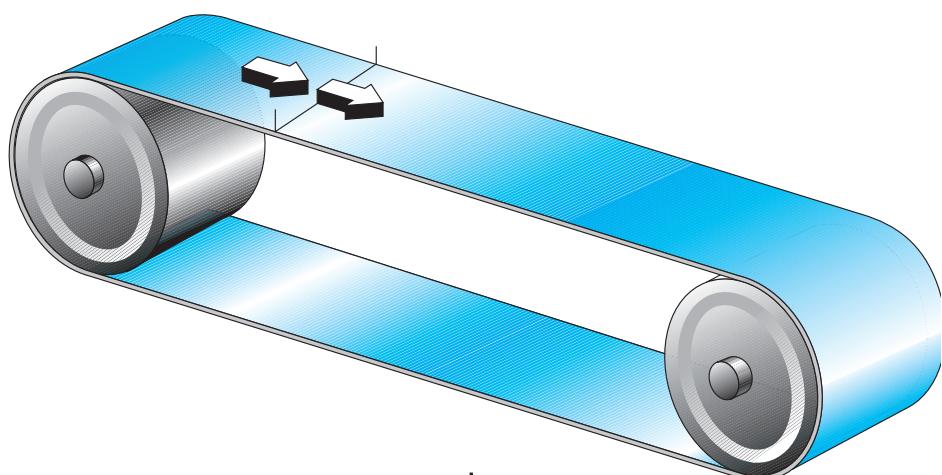
再現性:

再現性とは、単一のピッチが、ベルトの継続的回転で、指定の許容範囲内で定位置に戻ってくる能力です。

金属ベルトは伸びませんから、弊社のお客様には 0.025mm の再現性を実現しています。

平坦ベルトまたは穴あきベルト、アタッチメント付きベルト、あるいは駆動テープについて、精密な動きが高精度で計算可能です。システムの仕様決定に支援をお求めの場合は、Belt Technologies 社のセールスエンジニアにご連絡ください。

図 10. 再現性



ベルトラッキング:

金属ベルトは張力下にあっても、著しく伸びたりすることはないので、金属ベルトのトラッキングは、他のベルトタイプに比較して難しくなります。金属ベルトでは伸びないので、次の状態を修正する事は出来ません。

- システムの直角度または直線性の不備
- 抑制できていないプーリー軸の偏り
- 差異のある荷重
- ベルトの反り

これらのうちで、設計エンジニアは多分ベルトの反りに最もなじみが薄いことでしょう。反り、言い換えると「端のそり」は、ベルトの縁が直線から外れている状態です。反りは大なり小なりどのベルトにもあります。金属ベルトの反り、一般的に 1mあたり 0.2 ~ 0.5mm といったわずかなものです。金属ベルトを直角形状のプーリー 2 個のシステムに取り付け、張力をかけると、ベルトの片側に他方の側よりも大きな張力がかかります。これはそちらの側の縁の全周長が他方より短いからです。これにより、ベルトが回転する際、ベルトは縁の張力が大きい側から張力の小さい側へと蛇行するようになります。

どのようなトラッキング手法でも、その主的ものは、累積するマイナスのトラッキング応力や各種の力（前に定義したシステムの直角度、抑制できていないプーリー軸の偏り、差異のある荷重、ベルトの反り）を、制御下の応力や力で無効にすることで、ベルトがシステム上を走行するよう調整することにあります。

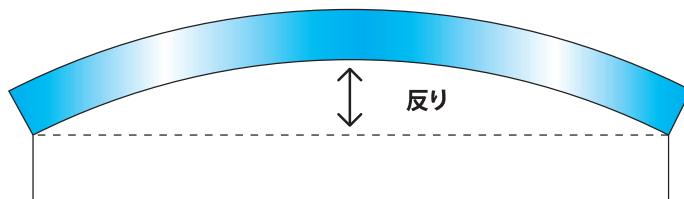


図 11. 反り

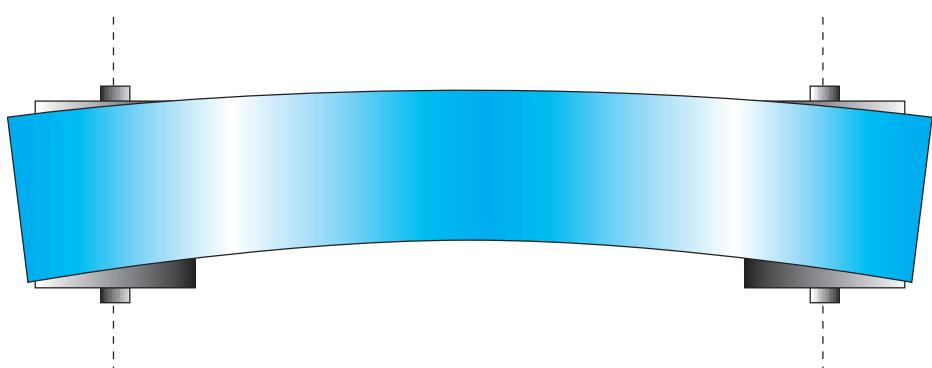


図 12. トラッキング

摩擦プーリーまたはタイミングプーリー、あるいは双方を使用するシステムでのベルトのトラッキングに用いられる次の 3 つの基本手法があります。

- プーリー軸の調節
- 摩擦駆動プーリーのクラウン加工
- 強制トラッキング

プーリー軸の調節

図 13 に示すように、金属ベルトシステムでプーリー軸を調節するのが、金属ベルトのトラッキングでは最も効果的な方法です。ベルトの縁の張力は制御された状態で変えられるので、ベルトの舵を取ることになります。この手法は、平らな面のプーリーにもクラウン加工のプーリーにも同じように有効です。

ドライブプーリーもアイドラー プーリーも、双方調節可能な軸を備えているのが理想です。しかし現実は、アイドラープーリーのみが調節されます。駆動プーリーは、モーターまたは他の動力伝達装置と接続されているため、軸の調節は普通困難です。

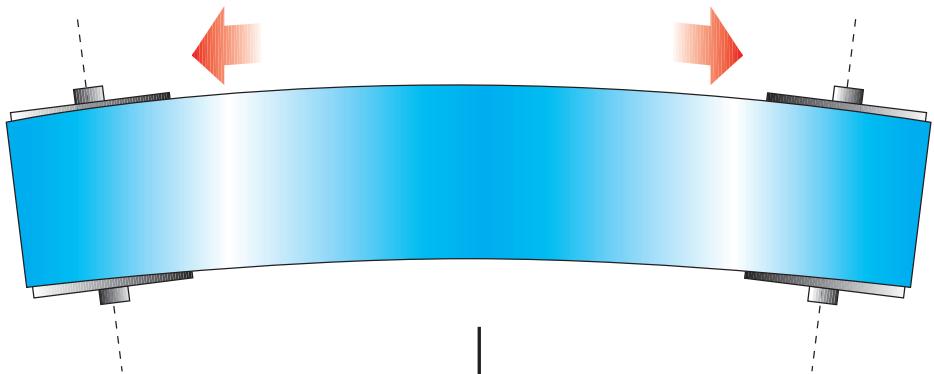


図 13. プーリー軸の調節

摩擦駆動プーリーの クラウン加工

クラウン加工の摩擦駆動プーリーを使用する必要がある場合、それは軸調節の代わりではなく、軸調節と併用で行います。これは、クラウン加工のプーリーのみでは、金属ベルトが自動的に中心に戻るようにはできないからです。クラウン加工のプーリーは、ベルトの面がプーリーのクラウン面にぴったりとなじむ必要があるので、板厚の薄いベルトの方がよい効果を得られます。ベルトがプーリ一面にぴったりと沿うよう張力を上げることはできますが、恒久的にベルトを変形させる原因ともなるので、それほど張力を高められません。クラウン加工のプーリーのベストな形状は、全体に Rをつけたもので、クラウン高さがベルトの厚みを超えないものです。

強制トラッキング

単なる軸の調節では蛇行を完全には解消できない場合、カム従動子またはガラス含有テフロン® フランジなどの強制トラッキング手法が必要である場合があります。この場合には、強制トラッキング手法がベルトの予測耐用寿命を縮小させるよう作用しますから、厚めのベルトを使用するなど、システム設計上の関係に修正を加える必要があります。

幅広のベルトでは、別な強制トラッキング手法として、金属ベルトの内周に

V ベルトを接合して用いる方法があります。この 2 つの要素からなるベルトは、Belt Technologies社 では Metrak® と呼ぶのですが、トラッキング応力を金属ベルト上ではなく、V ベルトの方に分配することで、強制トラッキングシステム(図 14)でのベルト寿命はより永くなります。

次のページで説明するタイミング歯は、タイミングのためのものであり、トラッキング手法として使用するものではありません。

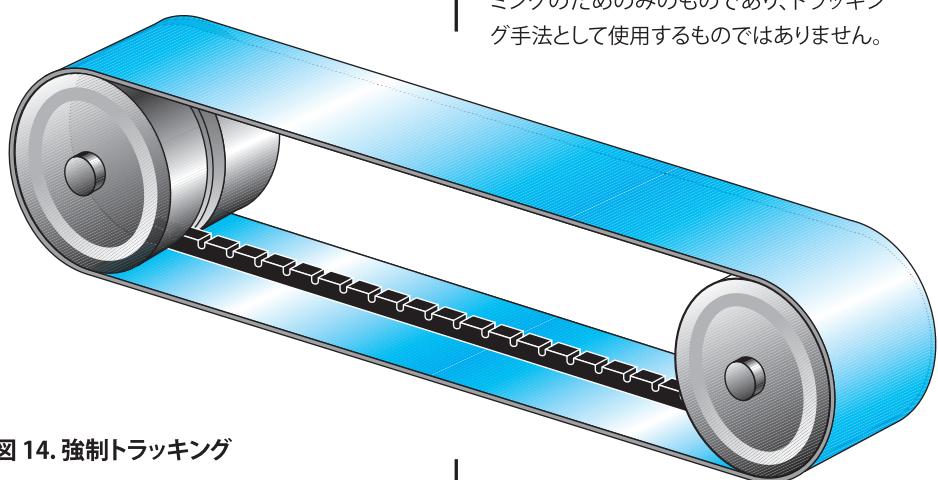


図 14. 強制トラッキング

タイミング:

金属ベルト用のタイミングプーリーは、歯が付いているかポケットが付いているかのいずれかで、それぞれ対応するベルトの穴ないしは駆動突起部とかみ合います。

タイミングプーリーの設計にあたっては、必ずすべてのタイミング要素が球状またはインボリュート状半径を保持するよう常に注意する必要があります。これにより、確実にベルトとプーリーが相互にスムーズにかみ合い外れ合うことになります。許容誤差の累積による問題を回避するため、駆動部分と従動部分との間の径の差は、一般的に少なくとも 0.152mm ~ 0.203mm の範囲内にあるようにします。バックラッシュがゼロないしはゼロに近い用途は、特殊な場合です。

歯付プーリーの製作時には、各タイミング歯をプーリー本体に機械加工した孔に挿入していきます。この際、全体のピッチ精度を確保するために、各歯の放射状の取り付け位置には充分な注意を払う必要があります。

タイミングプーリーの設計にあたっては、ピッチ径がベルトのほぼ中心点（薄い平板ベルトではベルトの厚みの 1/2）に来るようになります。これが大変重要です。金属ベルトは一般的に薄いものですから、プーリー側のテープサポート径の計算時に、ベルトの厚みを無視したくなりがちです。これらの計算にベルトの厚みを入れることを怠ると、タイミング要素の不一致という結果になります。

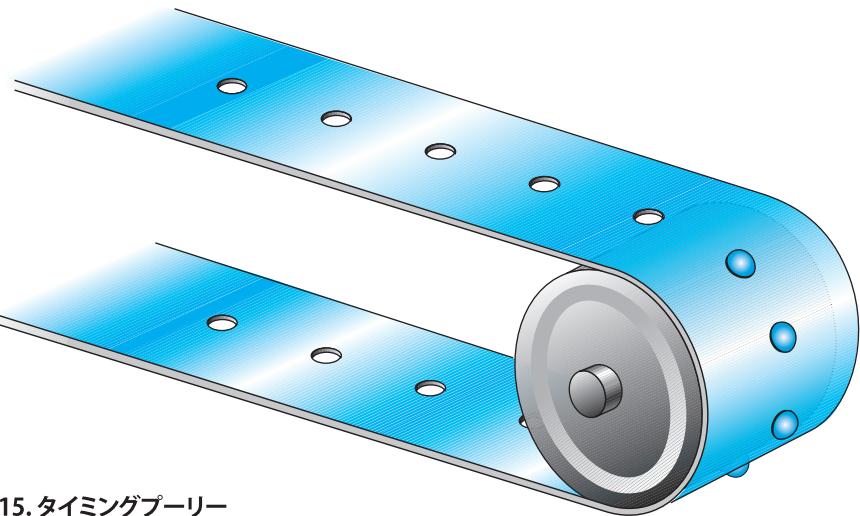


図 15. タイミングプーリー

テープサポート径の算出には次の式を用います。

$$D = \frac{NP}{\pi} - t$$

ここで

N = プーリー上のピッチ長さまたは歯の数

P = 穴あけピッチ

t = ベルトの厚み

引張力:

摩擦駆動システムでは、張力を自転車のチェーンのように緩くも、またギターの弦のようにきつても、動作可能です。タイミングシステムにあってはベルトの張力は極めて重要であり、可能な限り低いレベルに保持するようにします。一般的に言って、低いベルト張力はベルトの寿命向上し、その他のシステム機器の磨耗を低く押さえます。

プーリー間のたるみを取るためにベルトの張力を増大するべきではありません（「ベルトのたるみ」(19 頁) を参照）。張力をかけ過ぎると、巻尺で見られるような、クロスバー（交差する反り）形状がベルト上に現れることがあります。これらの反りのほかにも、張力のかけ過ぎは、むらのある動きを引き起こしたり、再現性やベルト寿命の縮小につながります。

ベルトの取付張力は、システムを稼動させた後、実際的で可能な限り低い張力を選択するようにして、決定します。張力の維持には、エアシリンダー、バネ、またはスクリュージャッキなどが使用できます。

システムフレームの強さ:

タイミングやベルトトラッキングのための微調整が可能であるためには、剛性のあるシステムフレームが必要です。システムのフレームに制御されていない屈曲がある場合、ベルトに張力がかかるとシステムは湾曲してしまいます。ひとつの力（システムの屈曲）を別の力（軸の調節）で埋め合わせても、制御されたシステムができるわけではなく、トラッキングの問題が生じたりします。確実にどの軸調節も制御できるようにするためにには、設計段階でシステムに充分な剛性を持たせることが重要です。

逆曲げ:

ベストなシステム設計は、2つのブーリーを使用したものです。システムに逆曲げを加えることは、曲げ応力を加えることであり、ベルトの寿命に悪影響を及ぼします。各々のブーリーは、舵取りに対する影響力を持っていますから、トラッキングの問題が生じてくる場合もあります。

片受けシャフト:

ブーリーのシャフトには、両端にしっかりと固定されている事が望ましい。片受けシャフトでは、旋回（首振り）の動きが生じる可能性があります。張力がかけられた時、シャフトが偏ってトラッキングの問題が起こることになります。片受けシャフトが必要である場合には、その剛性が、フレームの設計およびシャフトの硬直性により確保される必要があります。

透磁率:

透磁率とは、物質が磁性を持ち運ぶことのできる能力を、空気のそれを1として測定する単位である、と通例定義されるものです。

ステンレススチール300シリーズは、非磁性であるとされていますが、それからスプリングテンパーや高張力強度を造り出すために用いられる冷間加工では、透磁率が増大する結果となります。従って、301フルハードは、301ハーフハードよりも高い透磁率を示します。一般的に316ステンレスが、最も低い透磁率ですが、そのハーフハードのものは入手は困難です。

一般的金属ベルト用合金の定格透磁率特性については、付録を参照してください。

ベルトのたるみ:

ブーリー間の距離が長い場合、ベルトはたるみます。張力が高めであっても、幾らかのたるみはあるものです。適切な張力を確保し、たるみを回避するには、ベルトの作業面を、超高分子量(UHMW)材質でできた固定サポート面上で引きずるようにします。

高温環境:

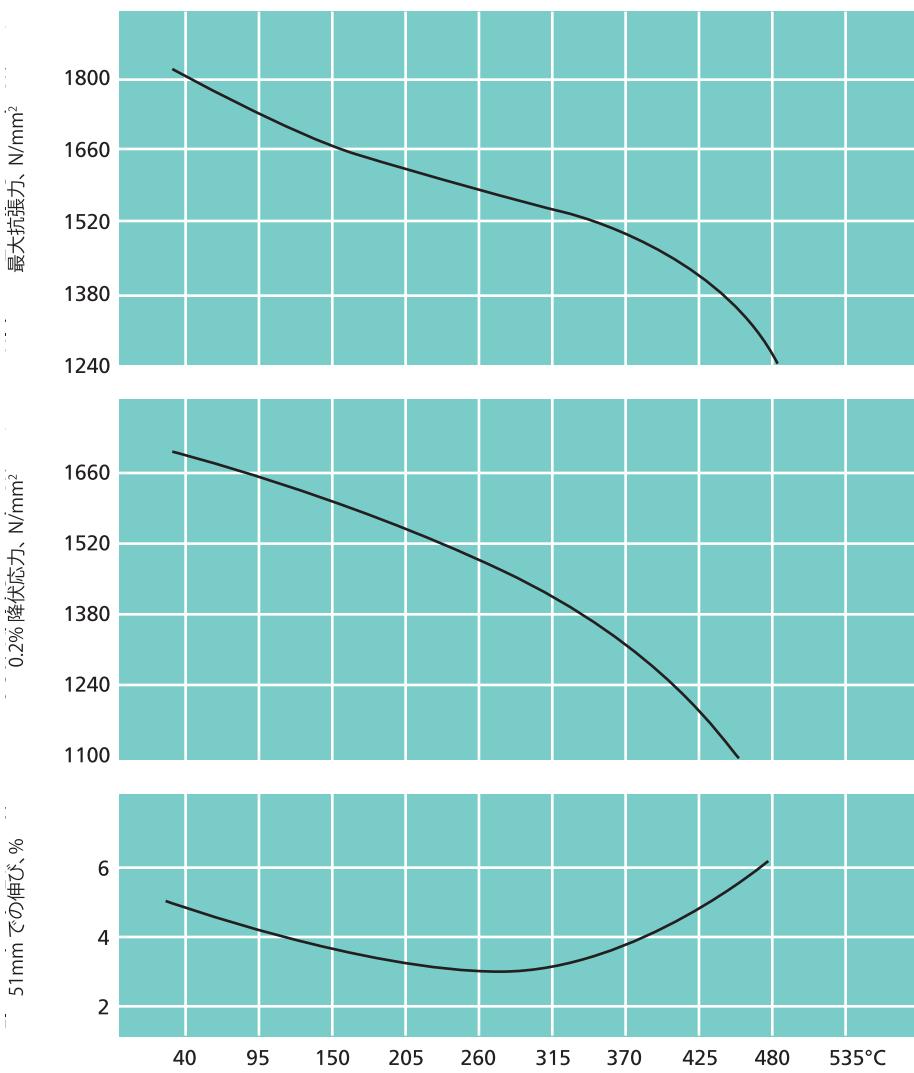
金属ベルトが高温環境にさらされることになる場合には、ベルト用に適した素材ばかりでなく、いかなるアタッチメントまたは表面処理も、同様に温度に対する耐熱性を有していることが非常に重要です。また、温度が上下するに伴う材質の膨張ならびに収縮に対しても、考慮する必要があります。温度による変化は、タイミング、トラッキング、張力、平滑度、その他の要素に影響を及ぼします。

表 4 に、主要合金について特定使用温度範囲とそれぞれ対応する熱膨張係数および降伏応力を示します。表 5 では、17-7 CH-900 の物理特性が温度の変化に従いどのように推移するかを図示します。

表 4. 主要合金の高温度特性

合金範囲	温度 °C	熱膨張の平均係数 $10^{-6} \text{cm/cm}^{\circ}\text{C}$	対象温度範囲での平均降伏強さ N/mm ²
301/302 フルハーハード (full hard)	20° ~ 205°	17.6	1100 ~ 930
17-7 CH-900	205° ~ 425°	11.8	1515 ~ 1170
Inco® 718 徐冷 熱処理	425° ~ 535°	15.1	1080 ~ 1070

表 5. 温度変化に対する物理特性 (17-7 CH-900)



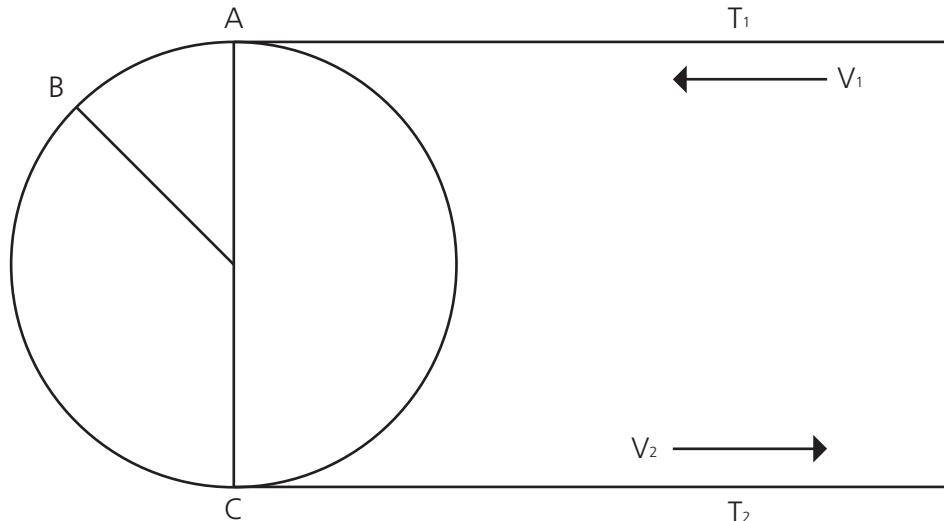


図 16. クリープ理論

AB はアイドル弧 BC は有効弧

ベルトのクリープ:

ベルトのクリープは、駆動プーリーとベルトの張力部材との間での動力伝達に関わる現象です。摩擦駆動システムにおけるクリープのために、プーリーはベルトよりもわずかですが速く回転移動します。

図 16 を見てみましょう。駆動プーリーとベルトが重なっている 180° の範囲は、次のように 2 つの弧の部分に分けられます。

- アイドル弧 (動力伝達のない領域)
- * 有効弧、クリープ角とも呼ばれる (動力伝達が行われる領域)

アイドル弧域内では、ベルトとプーリーの各面は、静的接触状態で、動力の伝達はありません。ベルトは引張りサイドの張力 T_1 と、駆動プーリーの表面速度 V_1 にマッチする速度 V_1 でプーリー上に走行します。接触がアイドル弧域内で継続する間、速度、張力、どちらも一定のままで推移します。

有効弧域内では、ベルトとプーリーの各面はすべりながらの接触であり、プーリーの表面速度

はベルトのそれよりも速くなります。この現象は、ベルトがプーリーの周りを移動するに連れベルトに対し作用する力のずれによりすべり接触が起こると、ベルトの張力の変化に合わせて摩擦力が発生し、動力が伝達されます。

金属ベルトの張力部材は、高弾性係数を有する金属ベルトですから、金属ベルトで見られるクリープは、大半の他の材質のベルトに比較してずっと少ないものです。

とは言え、制御なし場合には、摩擦駆動金属ベルトでのクリープは、再現性を失う結果になります。幸いなことには、金属ベルトでのクリープの制御は容易です。

タイミング歯またはタイミング突起部が、クリープの対策に最も一般的な方法です。タイミング位置の数は、クリープの発生を防ぐに足る最小の数にとどめるようにします。多くのシステムにおいて、プーリーの全周で 6 個所から 8 個所のタイミング位置さえあれば大丈夫です。

付録:

金属ベルト材質

高温、極めて腐食性のある環境、または特殊の電気的もしくは磁性の要件を伴うような、特に要求の厳しい用途では、金属ベルトや駆動テープの材質として、特定の合金の使用を除外する場合もあります。次に示す材質表は、重要な選定基準をまとめたものです。

表 6. 最も一般的な金属ベルト用合金の一部とそれぞれの常温での工学的性質

合金	降伏強さ (0.2% オフセット) N/mm ²	抗張力 N/mm ²	伸び 51mm で %	硬度
301 フルハード	1100	1240	5-15	RC40-45
301 ハイイールド	1790	1930	1	該当なし (N/A)
302 フルハード	1100	1240	1-5	RC40-45
304 フルハード	1100	1240	1-5	RC40-45
316 フルハード	1200	1310	1-2	RC35-45
716 フルハード	1450	1790	5-10	RC52
17-7 コンディション C	1275	1480	5	RC43
17-7 CH-900	1655	1720	2	RC49
インコネル 718	1200	1450	17	RC41
炭素鋼 SAE 1095	1650	1790	7-10	RC50-55
チタン 15V-3CR-3Al-3SN	1030	1140	11	RC35

設計要因による制約:

空間の制限や、異例の薬品・熱・電気・システムなどの要件などの用途の制約が、設計上の交換取引を要求することがあります。以下の例を検討してみてください。

- 金属ベルトは、6.35mm といった極狭い幅のブーリー上でも動作しますが、ベルトの寿命は縮まります。
- 金属ベルトは炉内温度最高 590°C までの環境で使用できますが、ベルトの

強度の大部分は、冷間加工や特定の熱処理により得られたものなので、このような高温ではベルトの強度が減少します。表 6 を参照してください。

- ベルト走行ガイド用ドクターブレードの使用が、ベルトの幅方向でベルト面に変形を生じさせます。適切にデザインされたドクターブレード、例えば UHMW 材などで作られたものを使用することで、このようなマイナスの効果を最小に抑えることは可能です。

引張弾性係数 (105 N/mm ²)	ポアソン比	密度 g/cm ³	熱伝導率 (0° ~ 100°C) Cal/cm ² /sec/°C/cm	熱膨張係数 (0° ~ 100°C) cm/cm/°C x 10 ⁻⁶	H-高 M-中 L-低 透磁率 耐食性	透磁率 耐食性
1.93	.285	7.9	0.039	16.9	L-M	M
1.79	.285	7.9	0.039	16.9	M-H	M
1.93	.285	7.9	0.039	17.3	L-M	M-H
1.93	.285	7.9	0.039	17.3	L-M	M-H
1.93	.285	7.9	0.036	16.0	L	H
2.20	.285	7.9	0.059	10.6	H	L-M
1.93	.305	7.8	0.037	15.3	M-H	M-H
2.00	.305	7.8	0.037	10.9	M-H	M-H
2.00	.284	7.9	0.030	11.9	L	H
2.07	.287	7.9	0.124	10.5	H	L
1.03	.300	4.7	0.019	9.7	L	H

ベルトの寿命:

ベルト寿命と言っても、人により、またプロセスにより、別の意味を持つものです。10,000回転のベルト寿命は、ある用途にとっては素晴らしいものであるかも知れません。別のベルトは毎時 10,000 回転するかも知れません。

では、あなたの金属ベルトはどれほど持つでしょうか。当然な質問を避けようとしているわけではありませんが、最善の答えは、「場合によりけり」でしょう。

システムの設計、材質の強度、環境、応力、張力、表面処理、アタッチメント、その他、といった要因により異なります。

システムの設計および金属ベルトに影響するもろもろの要因が、そのままそっくり、ベルトの寿命にも影響を及ぼします。

上述の内容を念頭におきながらも、確かに金属ベルトは他のベルトタイプやチェーンよりもかなり長持ちする可能性を持っていると言つていいでしょう。また、より精度が高く、再現性があり、軽量、高速、コスト効率も良くなる可能性も備えています。

弊社のエンジニアリングスタッフのメンバーとの話し合いが、御社の使用される種々の用途で期待できるベルト寿命を予測する助けとなることでしょう。

この金属ベルト技術資料が、設計上の考慮事項の理解を深め、また皆様の具体的な用途をさらに絞りみ検討する助けとなり得ることを希望するものです。弊社の多岐に亘る金属ベルト技術は、今後、さらに大きく伸び続ける為にもお客様のための問題解決として常にご相談をお引き受けいたします。

ご要望があれば、弊社の顧客リストをご用意いたします。

さらに支援や設計の見直しを必要とされる場合は、Belt Technologies 社のエンジニアに電話またはファックスでご連絡ください。

• 電話: 44 (0) 191 415 3010

* ファックス: 44 (0) 191 415 0333

次の頁にある設計チェックリストに、用途の情報を記入の上、ファックス送付してください。
Belt Technologies 社をご検討いただき、ありがとうございます。

スチールレベルトの設計チェック

さらに追加諸条件がある場合は、別紙を添付してください。

貴社システムの設計への協力をご希望の際は、必要に応じ本書式をコピーされ、弊社までご送付ください。

英国および欧州ならびにアジア
地域:
Belt Technologies Europe
4th Floor, Pennine House
Washington
Tyne and Wear NE37 1LY
United Kingdom
Tel: +44 (0)191-415-3010
Fax: +44 (0)191-415-0333
E-Mail: sales@bte.co.uk
www.belttechnologies.com

12 pt

From:	_____ _____ _____ _____ _____	(Name)	氏名		
	_____ _____ _____	(Company)	会社名		
	_____	(Address)	住所		
	_____	(Tel/Fax)			
1. 用途:	プログラミング 搬送 <input type="checkbox"/> 指標 <input type="checkbox"/> 時間 <input type="checkbox"/> 位置 <input type="checkbox"/> 動力伝達装置 <input type="checkbox"/>				
2. 各機器の寸法:	ベルト幅 _____	プーリー径 _____			
	プーリー数 _____	プーリーの中心点 _____			
3. 荷重:	ベルト速度 _____	最大トルク _____			
	加速 _____	静止時荷重 _____			
4. ご要求されるベルト特性:	強度 <input type="checkbox"/>	精度 <input type="checkbox"/>	清潔さ <input type="checkbox"/>	耐腐食性 <input type="checkbox"/>	熱伝導率 <input type="checkbox"/>
	高温 _____	_____	_____	_____	_____
5. Quantities:	ベルト数量 (見積) _____	プーリー数量 (見積) _____			
6. 貴社の設計図面等をご提示下さい。					



英国および欧州ならびにアジア地域:
Belt Technologies Europe • 4th Floor • Pennine House
Washington • Tyne and Wear NE37 1LY • United Kingdom
Tel: +44 (0) 191 415 3010 • Fax: +44 (0) 191 415 0333
E-Mail: sales@bte.co.uk • www.belttechnologies.com

北米・中米・南米地域:
Belt Technologies, Inc. • 11 Bowles Road
P.O. Box 468 • Agawam, MA 01001 • USA
Tel: (413) 786-9922 • Fax: (413) 789-2786
E-Mail: engineer@belttechnologies.com • www.belttechnologies.com