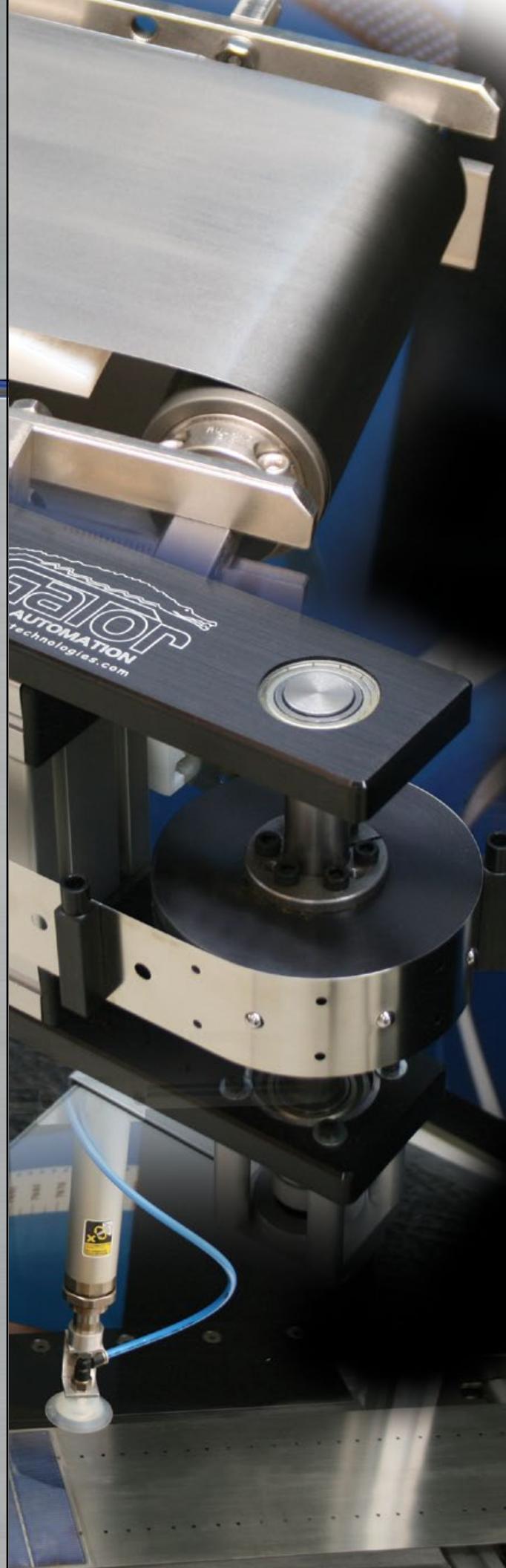




Precision on the *Move*

金属ベルトと
プーリーの
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、およびプ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、それが優れた精度や制御、耐用性、コストパフォーマンスにつながります。多くの場合、金属ベルトシステムは、他のベルトタイプ(例:ゴムやファイバーグラス製)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
- 治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プーリーを、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資料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、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。



BELT
TECHNOLOGIES, INC

Precision on the *Move*

GAIOR
AUTOMATION
www.belttechnologies.com

目次

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 - 6

プーリー

設計

材質

公差

プーリーの形状

7

表面処理

テフロン

ネオプレンまたはウレタン

シリコーン

硬質アルマイト

その他

8 - 14

設計における考慮事項

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

15

付録:

金属ベルトの材質

16 - 23

プーリー設計ガイド

金属ベルトに使用されるプーリーの

一般的な設計コンセプト概要

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。また、本ガイドには記載されていない、お客様の金属ベルトに適した用途がある可能性もございます。

是非Belt Technologies社に連絡いただき、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してください。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設計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ウハウは、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。

金属ベルトを採用する担当エンジニアには、他の製品や材質を使用する際には得られない恩恵が与えられます。その幾つかの重要な特長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、軽量、またはその両方が重要となるほぼすべての用途においてメリットとなります。

・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材質を選定します。

・潤滑油不要：

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、事実上伸張しないと言えます。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絨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。

・熱および電気の

伝導率良好：

金属ベルトは、熱、冷気、電気といった形態のエネルギーを伝導します。

・静電気の帯電なし：

金属ベルトは静電気を放電します。これはICや表面取付機器などの電子部品の製造工程で極めて重要な特性です。

・クリーン：

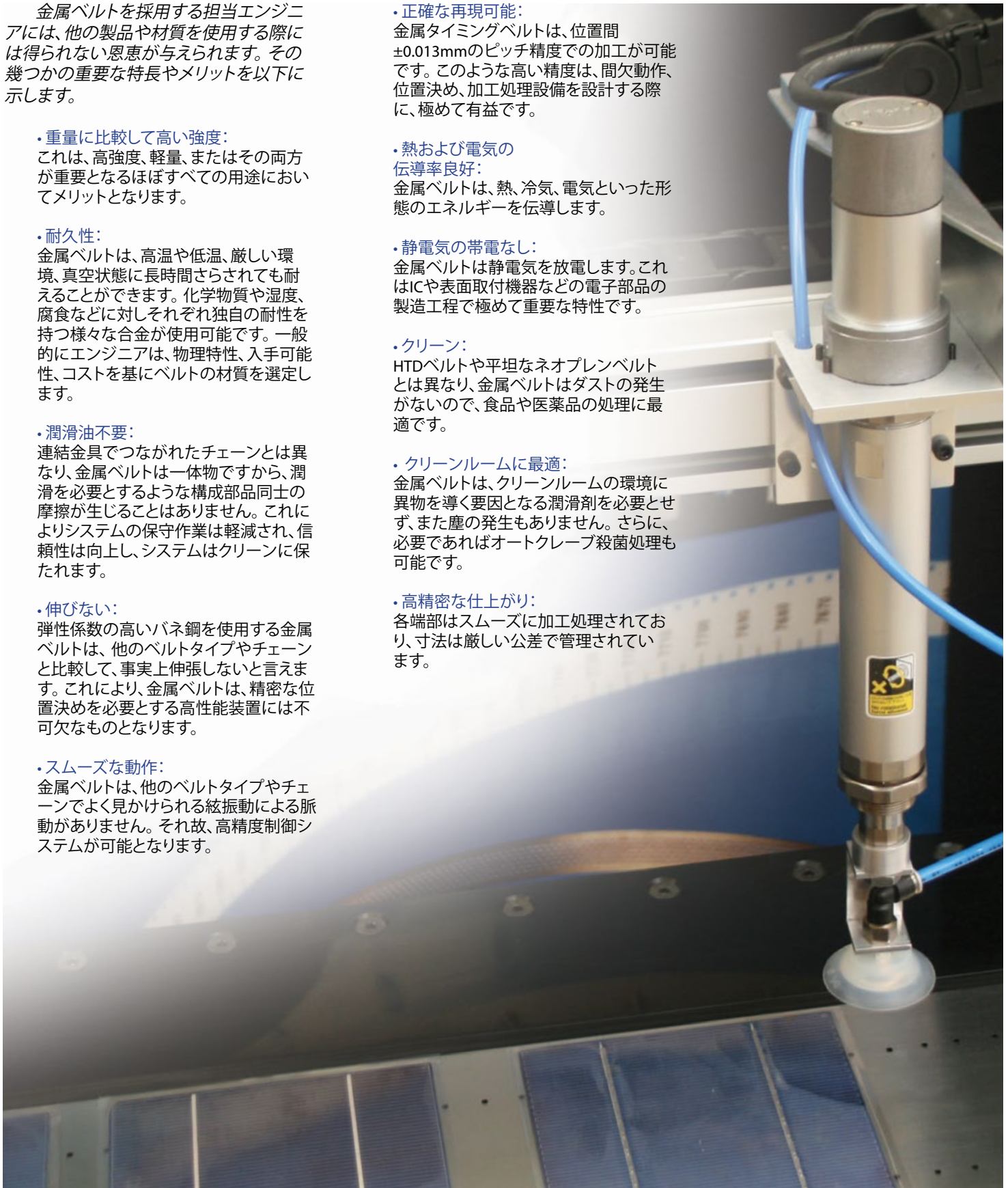
HTDベルトや平坦なネオプレンベルトとは異なり、金属ベルトはダストの発生がないので、食品や医薬品の処理に最適です。

・クリーンルームに最適：

金属ベルトは、クリーンルームの環境に異物を導く要因となる潤滑剤を必要とせず、また塵の発生もありません。さらに、必要であればオートクレーブ殺菌処理も可能です。

・高精密な仕上がり：

各端部はスムーズに加工処理されており、寸法は厳しい公差で管理されています。



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を以下に挙げます。

- ・搬送
- ・ヒートシーリング
- ・鋳造
- ・印字面

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、穴あき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
- ・往復動作位置決め
- ・バキューム搬送
- ・巻取り搬送
- ・インデックス

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わせ
- ・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。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穴が設けられています。駆動テープは以下の用途において、バックラッシュ皆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
- ・読取り書込みヘッドの位置決め
- ・光学素子駆動

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、ベルトの穴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・電氣的検査
- ・高速自動包装装置
- ・切断作業

図1. 平坦ベルト

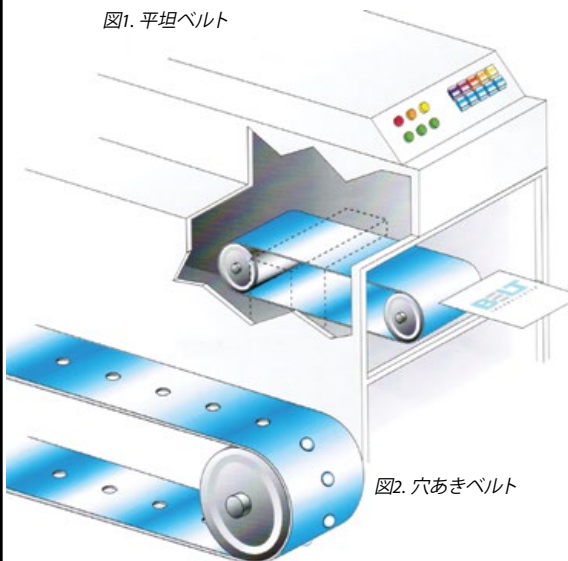


図2. 穴あきベルト

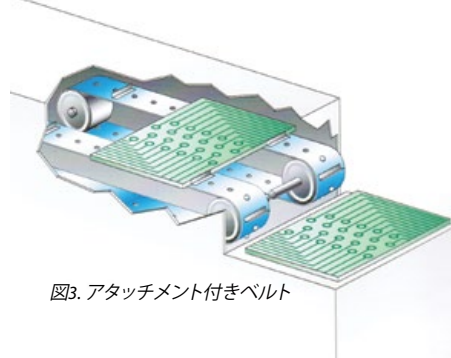


図3. アタッチメント付きベルト

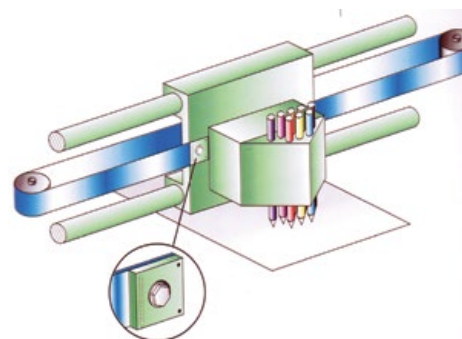


図4. 駆動テープ

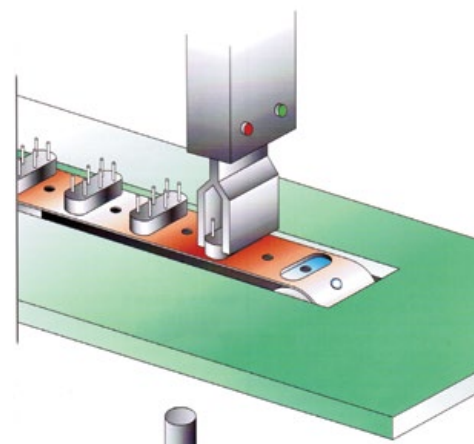
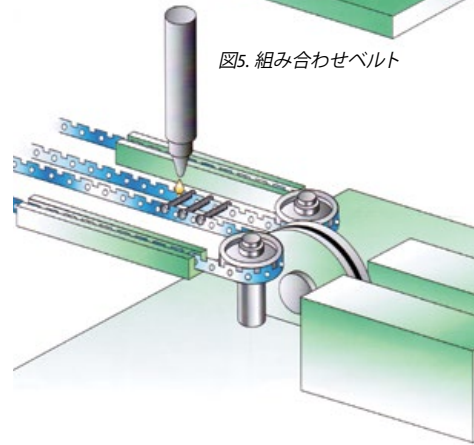


図5. 組み合わせベルト



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、外形6インチ(152mm)まで、幅4インチ(102mm)までのサイズが使用されます。

I形ビーム

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。

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十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に機械加工されます。この場合も、強度を損なうことなく重量を削減することが非常に重要です。

材質:

ユーザーのニーズに対応して、プーリーは広範な種類の材質から製作可能です。

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、強靱、高コスト効率です。ただし、使用温度が制限されるほか、真空環境ではガス抜けの問題が起こる可能性があります。

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、それぞれ独特の利点があります。

非金属素材

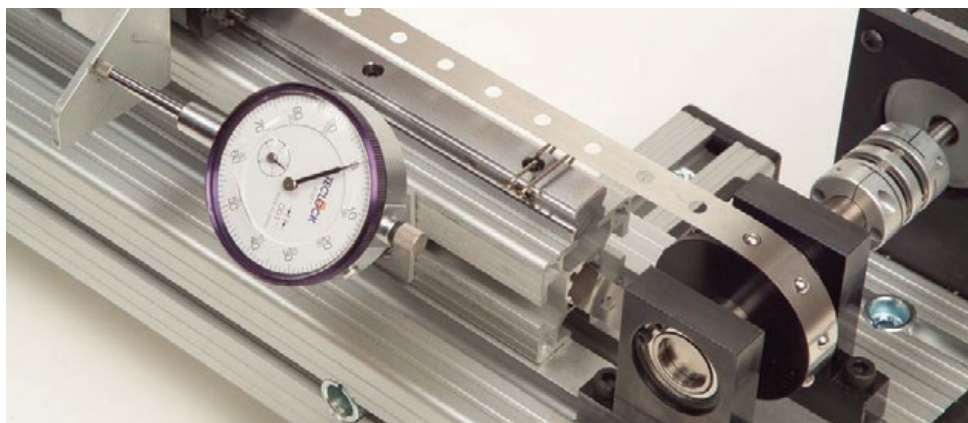
プラスチック材の中には、優れた耐摩耗性と強度を有しているものがあります。用途によっては、また量が多い場合には、プラスチックは金属プーリーよりもコストを低く抑えられます。

公差:

表1にタイミングプーリーおよび摩擦駆動プ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種のプーリーボディー設計に適用できます。

表1. 最大14インチ(355mm)径までのプーリーの公差

	タイミングプーリー インチ(mm)	摩擦プーリー インチ(mm)
テープサポート部の径(外径)	±.0015" (.025)	±.002 (.051)
プーリー面幅	±.010" (.127)	±.010" (.127)
内径	+.001"/-0.0000" (+.025/-0.00)	+.002"/-0.0000" (+.051/-0.00)
同心度	.002" (.025)	.002" (.025)
タイミング位置	±10秒	該当なし(N/A)



プーリーのタイプ:

このように形状、材質、設計上の特徴により様々なプーリーがありますが、一般的にはプーリーは、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。

図6.
ポケット付きプーリーおよびボール
ベアリング埋め込みプーリー



摩擦駆動

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

また通常は、プ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求めの方は、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、高応力集中部が無くなるわけではありません。

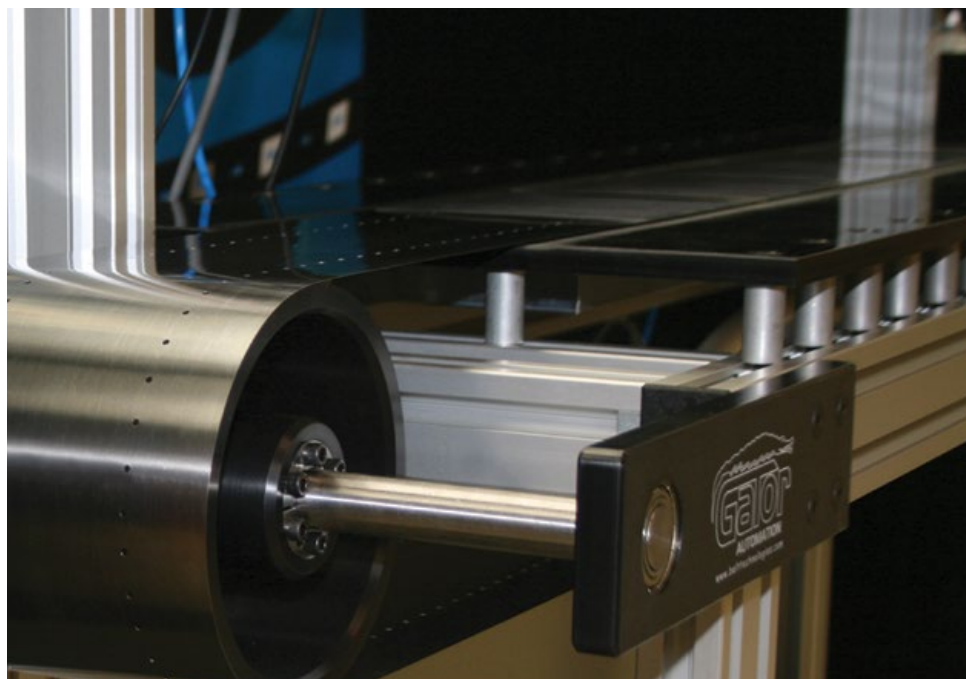
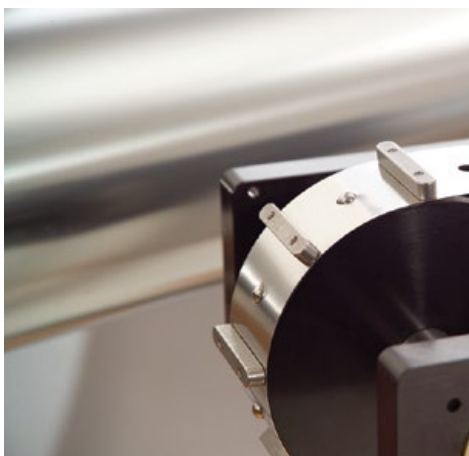
タイミング

タイミングプーリーには、プーリー本体の外径全周に歯また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。このようなプーリーにあっても、動力の伝達そのものは、平坦なベルトとプ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。ベルトとプーリーの継続的にかみ合いによる摩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プーリーでは、硬化ボールベアリングを歯として使用しています。

プーリーを2個使用した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、駆動プーリー側のみに適用すればよく、他方のプーリーには不要です。

注) 摩擦プーリーもタイミングプーリーも、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プーリーを指します。このタイプは、ベルトトラッキングが容易であり、プーリーの総重量およびコストの削減となります。プーリー面は通常、ベルト幅の1/2以下にはならない様になります。



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させる事が可能です。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、表面の厚さは0.002インチ(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くよう、ポケットにバキューム穴を組み合わせたことも可能です。

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。

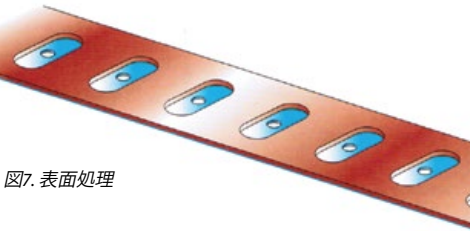


図7. 表面処理

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。

ECLIPSE®:

FDAに準拠したEclipseコーティングは、高い剥離性と非常に優れた耐摩耗性を有するコーティングです。その独自の3重コーティング、高再生、内部補強、こびりつき防止を有する表面は、テフロンの10倍以上の耐食性をもたらします。また、家庭用薬品に対する耐性、こびりつき防止、耐汚染、高温での高い性能を有します。下塗りに慎重に選択・ブレンドされたレジンが含まれる点で、その他すべてのこびりつき防止コーティングと異なります。

また、上塗りがフッ素重合体を多く含む一方で、中塗り(実際には他の補強システムに使用される下塗り)は特殊な補強要素を含んでおり、剥離性(こびりつき防止)に完全に特化しています。

ウレタンまたはネオプレン:

ウレタンも、開放または独立気泡のネオプレンも、金属ベルト表面の摩擦係数を変え、デリケートな部品を保護するクッションの役目を果たします。これらの表層材は、金属ベルト面にしっかりと接着されています。特殊なポケット形状を保持する場合には、接着前に打ち抜き加工が可能です。

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、シリコーンなら適合することがあります。シリコーンは、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。シリコーンを金属ベルト面に接着させることは困難ですが、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、アルミ製プーリーの硬度、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、酸化アルミの層が形成され金属層の一部となり、プーリーの表面全体に浸透および積層します。コーティングの厚さは均一で、プーリーそのものの精度を保存します。

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、フルオロカーボン化合物、銅張合わせ加工、金メッキ、粉末ダイヤ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決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。

表2. 表面処理の特性

コーティング 素材	使用温度	使用温度	厚さ インチ (mm)	色
テフロン® TFE	こびりつきにくい	上限600° F 上限315° C	.001" (.025)	ブラック グリーン
テフロン® FEP	耐腐食性 耐低温性	上限428° F 上限220° C 下限-328° F 下限-200° C	.001"~.030" (.025~.75)	メタリック グレー
テフロン® GATORCOAT	食品との接触 可能	上限600° F 上限315° C	.001"~.006" (.025~0.15)	メタリック グレー
テフロン® 550	耐摩耗性の 硬質テフロン	上限446° F 上限230° C	.001"~.0015" (.025~.038)	ブラック
シリコーン ゴム	優れた剥離性と 高摩擦性	上限392° F 上限200° C	.004" (0.10)	多様
ポリウレタン 成形可能	高摩擦性	上限158° F 上限70° C	.008"~.125" (.203~3.175)	多様
ネオプレン ゴム	伸縮性 ポケット成形可能	上限158° F 上限70° C	.016"~.250" (.40~6.4)	ブラック

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社のエンジニアとご一緒に再検討されてみてはいかがでしょうか。

システム設計ガイドライン:

金属ベルトを用いたいかなるシステムでも、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プーリー数は少なくする。
- プーリーの径は大きなものを使用する。
- 逆曲げを避けたプーリーシステムを使用する。
- 長さと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負荷の検討が必要です。安定した状態での稼働条件のほか、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度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。

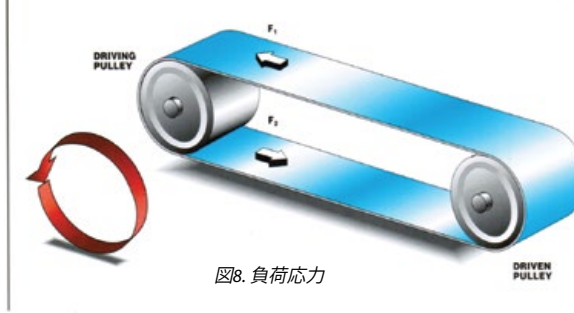


図8. 負荷応力

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 (ニュートン)

F_w とトルクの関係は次の式で表されます。

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

また動力との関係は次の式です。

$$F_w = \frac{33000 \times \text{HP}}{V}$$

ここで: V = 速度 (ft/min)

そして加速度との関係は次の式です。

$$F_w = ma = (L/g) \times a$$

ここで

L = ベルト上の荷重 (lbs)

$$g = 32.2 \text{ ft/sec}^2$$

a = 荷重加速度 ft/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。この力に起因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滑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 = ベルトとプーリー間の摩擦係数

θ = プーリーに対するベルトの巻き角度 (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の間にあることが分かっています。

薄い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、次のようになります。

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

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 (ステップ4 参照) する必要があります。

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 = 弾性係数 (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。

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。

$$S_t = S_w + S_b$$

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

ここで

b = ベルト幅

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。

Belt Technologies社は、タイミングベルトではストランドごとに1000 psi (6.9 N/mm²)、平坦ベルトではストランドごとに2000~5000 psi (13.8 - 34.5 N/mm²) の張力を推奨します。

一般的なサイズ および仕様

金属ベルトは一般的に、厚さが0.002" (0.51mm)~0.032+" (0.8mm)、プーリー径が2" (50mm)~10" (254mm)です。厚さが0.005" (0.127mm)で寿命が1,000,000サイクルの一般的な金属ベルトには、径が3.125" (79.4mm)のプーリーが必要となります。サイズ範囲は、考慮される用途および荷重により異なるため、Belt Technologies社のセールスエンジニアにお客様の設計に関するアイデアをご相談ください。

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使用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、曲げ応力の低減、またはより厚いベルトの使用が可能になり、それがさらに使用応力を低減させることにもなります。

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
400:1	500,000
333:1	165,000
200:1	85,000
ここでの関係は、プーリー2個の摩擦 駆動システムを基にしたものです。	



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、 $\pm 0.0005"$ (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。

ベルトの長さ:

金属ベルトの長さを計算するには、以下の式を使用してください。ベルトの長さを計算する前に、理想とするお客様のシステムの設計範囲を知っておくことが重要となります。より大きなプーリー径は通常、最適なベルト寿命をもたらし、またプーリー径からベルト厚を推定することができます。ベルトの寿命については表3を参照してください。最大プーリー径が分かれば、それを表3のプーリー径対ベルト厚比率で割ることで、お客様の用途に最適なベルト寿命が分かります。一般的なベルト厚の範囲は0.002" [0.05mm] ~ 0.032" [0.813mm] で、一般的なプーリー径の範囲は2" 以上です。

$$L = (2 \times C) + (D + t) \pi$$

ここで

L = ベルトの長さ

C = 2個のプーリーの中心間距離

D = プーリー径

t = ベルトの厚み

$$\pi = 3.14159$$

これにより、同一の径をもつ2個のプーリーを組み込んだ金属ベルトシステムの適切な長さを割り出せます。複数のプーリー、または異なる径をもつプーリーのシステムについては、Belt Technologies社のエンジニアにお問い合わせ下さい。お問い合わせ先は裏表紙内側に記載されています。

BELT STRETCH:

金属ベルトは、通常運転では伸張せず、通常の前負荷張力を得た後に独自のものとなります。平坦ベルトの前負荷伸張を計算するには、以下の式を使用してください。穴あきベルトについては、Belt Technologies社のセールスエンジニアまでお問い合わせ下さい。

$$\Delta L = PL/AE$$

ここで

ΔL = 伸張 (インチ)

P = 引張荷重 (ポンド)

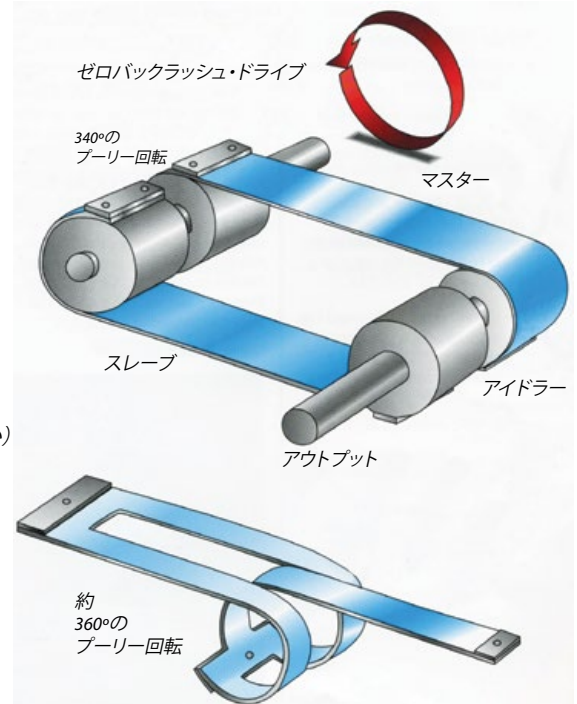
L = 初期のベルト長さ (インチ)

A = ベルト断面積 (インチ)

E = ヤング率
(15頁の材質表を参照してください)

ゼロバックラッシュ:

ゼロまたはほぼゼロに近いバックラッシュの位置システムは、金属ベルトの使用によって実現可能です。これらのドライブは、ペアで、または独創的な設計アイデアを基に稼働させることで、厳しい配置精度が必要となるすべての場所で使用できます。以下の図では、典型的なゼロバックラッシュ・ドライブを2つ紹介しています。



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 $\pm 0.0005"$ (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、また図面でPsとあるマイナス側に寄るようにも加工できます。要件については、Belt Technologies社のエンジニアにお問い合わせ下さい。

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0.002" (0.051mm) 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。

ベルトトラッキング:

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ことはできません。

- ・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、設計エンジニアはおそらく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「端の曲がり」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。金属ベルトの反りは、一般的に8' (2.44m) で.050" (1.27mm) 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。

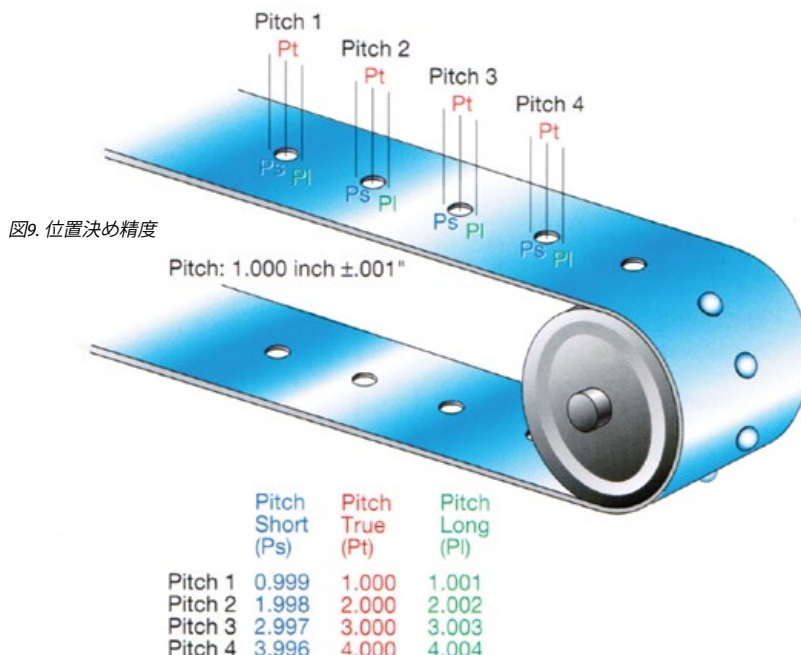


図9. 位置決め精度

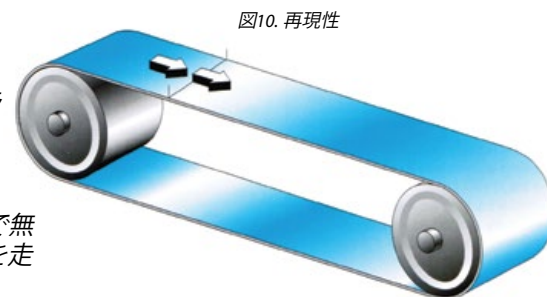


図10. 再現性

どのようなトラッキング手法でも、その主目的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、抑制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。

調節可能プーリー:

Belt Technologies社は、金属ベルト等すべての平滑ベルトのトラッキングを助ける、独立可動プーリー (ISP) の特許を取得しました。自動システムでは、ISPをセンサーおよびサーボモーター・パッケージに取り付け、ハンズフリーな金属ベルトの自動トラッキングを実現できます。Belt Technologies社のセールスエンジニアから独立可動プーリーに関する補足の技術書をお求めいただき、お客様の用途にもたらず恩恵をご理解ください。

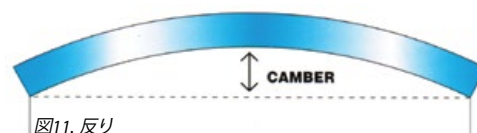


図11. 反り

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トラッキングには、次の3つの基本手法が用いられます。

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

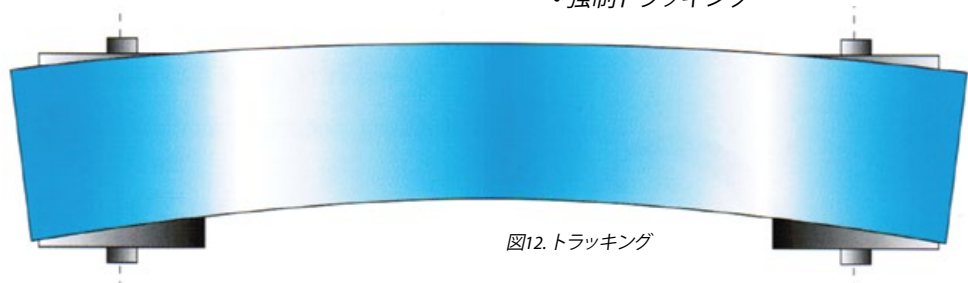


図12. トラッキング

プーリー軸の調整:

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に変えられるので、ベルトの舵を取るようになります。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ルプーリーも、双方調節可能な軸を備えているのが理想です。しかし現実には、アイドル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。

・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は、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。ベルトがプーリー面にぴったりと沿うよう張力を上げることができますが、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、クラウンの高さがベルトの厚みを超えないものです。

図14. 強制トラッキング

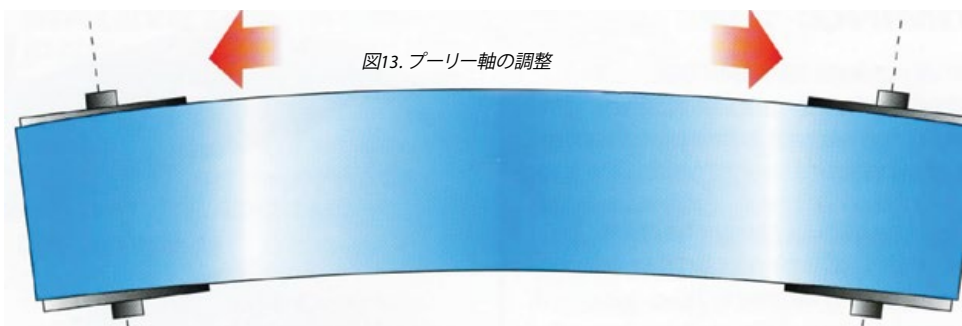
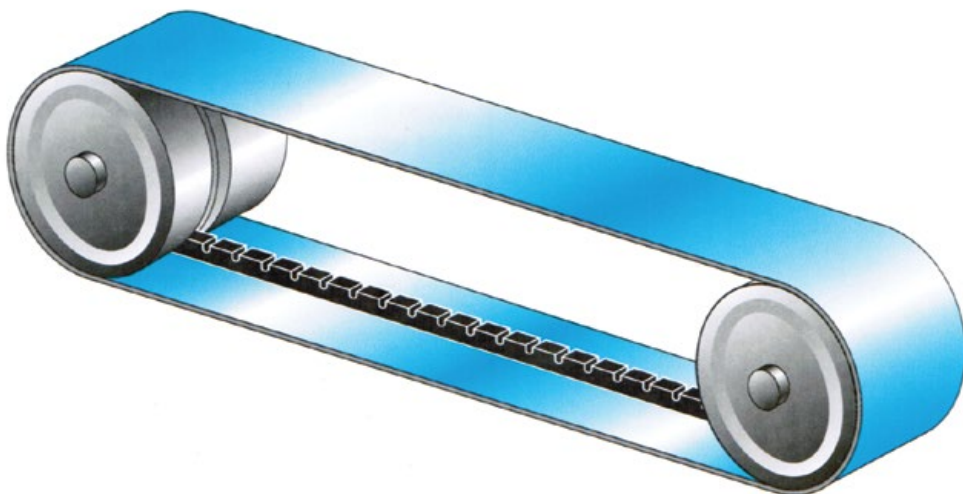


図13. プーリー軸の調整

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®と呼ぶものですが、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みのものであり、トラッキング手法として使用するものではありません。

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 $\pm 0.005"$ (0.127mm) $\sim \pm 0.007"$ (0.178mm) 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穴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十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厚みの1/2)に来るようにすることが大変重要です。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。

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しても、またギターの弦のようにきつくしても動作可能です。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を向上し、その他のシステム機器の摩耗を低く抑えます。

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(本頁の「ベルトのたるみ」参照)。張力をかけ過ぎると、巻尺で見られるようなクロスボー(ベルト両端面の反り)現象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、ムラ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、システムを稼働させた後、实际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。

Belt Technologies社は、摩擦システムでは1000~5000 psi (6.9~34.5 N/mm²)、タイミングシステムでは1000 psi (6.9 N/mm²)を推奨します。

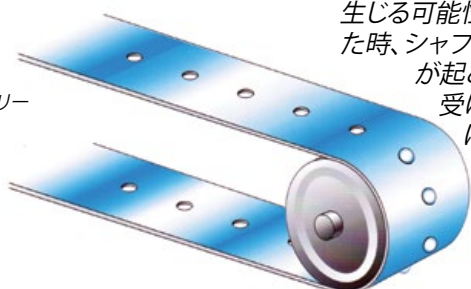


図15. タイミングプーリー

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)で埋め合わせしても、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は、設計段階でシステムに十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つのプ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。各々のプーリーは、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:

プーリーのシャフトは、両端がしっかりと固定されていることが望ましいです。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かねません。片受けシャフトが必要である場合には、その剛性が、フレームの設計及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シリーズでは、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困難です。

一般的な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:

プ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:

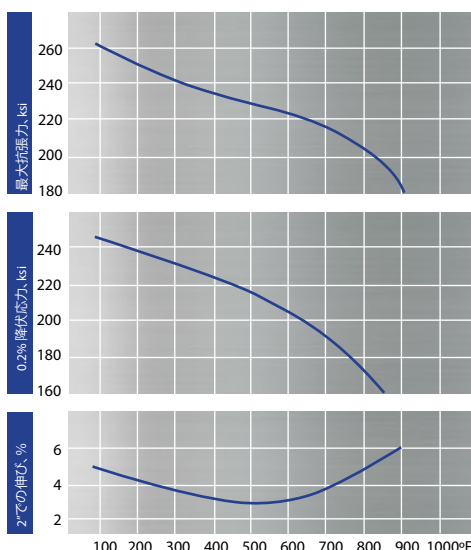
金属ベルトが高温環境にさらされることになる場合には、ベルト用に適した素材ばかりでなく、いかなるアタッチメントまたは表面処理も、同様に温度に対する耐熱性を有していることが非常に重要です。また、温度が上下するに伴う材質の膨張ならびに収縮に対しても、考慮する必要があります。温度による変化は、タイミング、トラッキング、張力、平坦性、その他の要素に影響を及ぼします。

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示します。

合金	温度範囲 °F (°C)	熱膨張の 平均係数 平均係数 10 ⁻⁶ IN/IN/°F (cm/cm/°C×10 ⁻⁶)	対象温度範囲での 平均降伏強度 温度 1000 PSI (N/mm ²)
301/302 Full Hard	68°~400° (20°~205°)	9.8 (17.6)	160~135 (1100~930)
17-7 CH-900	400° to 800° (205°~425°)	6.6 (11.9)	220~170 (1500~1170)
Inconel® 718 Solution 徐冷および 熱処理	800°~1,000° (425°~540°)	8.4 (15.1)	157~155 (1080~1070)

表4. 主要合金の高温特性

表5. 温度変化に対する物理特性(17-7 CH-900)



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、クリープ角ともよばれる (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T1と、駆動プーリーの表面速度V1にマッチする速度V1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。

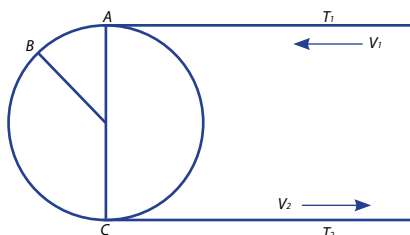
有効弧域内では、ベルトとプーリーの各面はすべりながらの接触であり、プーリーの表面速度はベルトのそれよりも速くなります。この現象は、ベルトがプーリーの周りを移動するにつれベルトに対し作用する力のずれによる、ベルトの寸法変化を引き起こすものです。すべり接触が起こると、ベルトの張力の変化に合わせて摩擦力が発生し、動力が伝達されます。

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、大半の他の材質に比較してずっと少ないものです。

とは言え、制御なしの場合には、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、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箇所から8箇所のタイミング位置さえあれば大丈夫です。

図16. クリープ理論
ABはアイドル弧。BCは有効弧。



付録:金属 ベルトの材質

高温、極めて腐食性のある環境、または特殊な電氣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、特定合金の使用を除外する場合があります。次に示す材料表は、重要な選定基準をまとめたものです。

設計要因による 制約:

空間の制約や、異例の薬品・熱・電気・システム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(0.25")と行ったごく狭い幅のプ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(1,094°F)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。

ベルトの寿命:

ベルトの寿命と言っても、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もつでしょうか。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っていいでしょう。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でしょう。

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光学的性質

合金	降伏強度 (0.2% オフセット) 1000 PSI (N/mm ²)	抗張力 STRENGTH 1000 PSI (N/mm ²)	伸び 51mmで %	硬度	引張弾性係数 MODULUS IN 10 ⁶ PSI (in 10 ³ N/mm ²)	ポアソン比 比率 (g/cm ³)	密度 #/IN ³ cal/cm ² /sec/°C/cm	熱伝導率 (32°~212° F) BTU/FT ² /HR/°F/IN cm/cm/°C x 10 ⁻⁶ (0°~100° C)	熱膨張係数 (32° TO 212° F) cm/cm/°C x 10 ⁻⁶ (0°~100° C) in/in/° F	透磁率	耐食性
301 FULL HARD	160 (1100)	180 (1240)	5-15	RC40-45	28 (1.93)	.285	0.29 (7.9)	113 (.039)	9.4 16.9	L-M	M
301 HIGH YIELD	260 (1790)	280 (1930)	1	該当なし (N/A)	26 (1.79)	.285	0.29 (7.9)	113 (.039)	9.4 16.9	M-H	M
302 FULL HARD	160 (1100)	180 (1240)	1-5	RC40-45	26 (1.93)	.285	0.29 (7.9)	113 (.039)	9.6 17.3	L-M	M-H
304 FULL HARD	160 (1100)	180 (1240)	1-5	RC40-45	26 (1.93)	.285	0.29 (7.9)	113 (.039)	9.6 17.3	L-M	M-H
316 FULL HARD	175 (1200)	190 (1310)	1-2	RC35-45	28 (1.93)	.285	0.28 (7.9)	97 (.036)	8.9 16.0	L	H
716 FULL HARD	210 (1450)	260 (1790)	5-10	RC52	32 (2.20)	.285	0.28 (7.9)	170 (.059)	5.9 10.6	H	L-M
17-7 CONDITION C	185 (1275)	215 (1480)	5	RC43	28 (1.93)	.305	0.28 (7.8)	114 (.037)	8.5 15.3	M-H	M-H
17-7 CH-900	240 (1655)	250 (1720)	2	RC49	29 (2.00)	.305	0.28 (7.8)	114 (.037)	6.1 10.9	M-H	M-H
INCONEL® 718 炭素鋼	175 (1200)	210 (1450)	17	RC41	29 (2.00)	.284	0.29 (7.9)	86 (.030)	6.6 11.9	L	H
炭素鋼 SAE 1095	240 (1650)	260 (1790)	7-10	RC50-55	30 (2.07)	.287	0.29 (7.9)	360 (.124)	5.8 10.5	H	L
チタン 15V-3CR-3AI-3SN	150 (1030)	165 (1140)	11	RC35	15 (1.03)	.300	0.17 (4.7)	56 (.019)	5.5 9.7	L	H
INVAR 36	50 (340)	75 (520)	30	RB80	20 (1.38)	.317	0.30 (7.9)	120	2.1 1.2	L	M-H

金属ベルトに使用される プーリーの 一般的な 設計コンセプト 概要

- ベルトに関与するタイミング要素の数を最小限に抑えます。
- クラウン加工やフランジ加工のプーリーの使用は、金属ベルトの用途には通常、推奨されません。これらの設計は選択のもとで行い、ベルトの力学および用途の特性の両方に通じたBelt Technologies社のエンジニアに相談してから使用されるべきです。
- 金属ベルトを使用した精度システム用の摩擦ドライブまたはタイミングプーリーの製造は、円形金属材料の単純な加工の問題ではありません。金属ベルトの精度および再現性は、補足するプーリーの精度と同等のものになります。

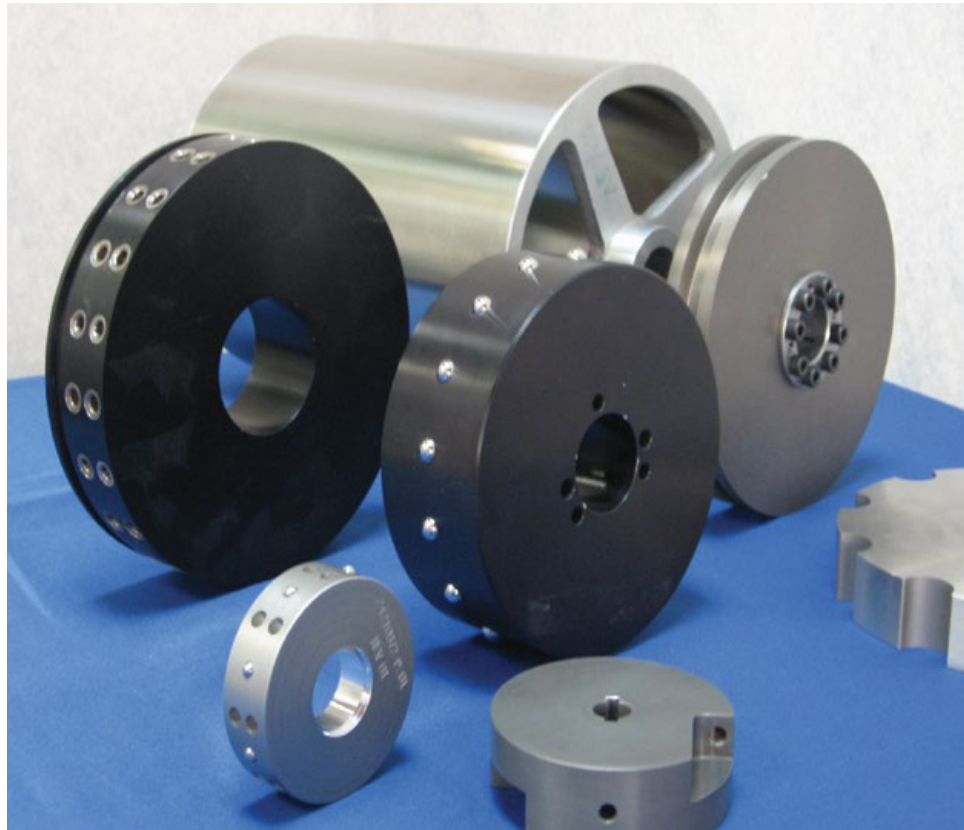
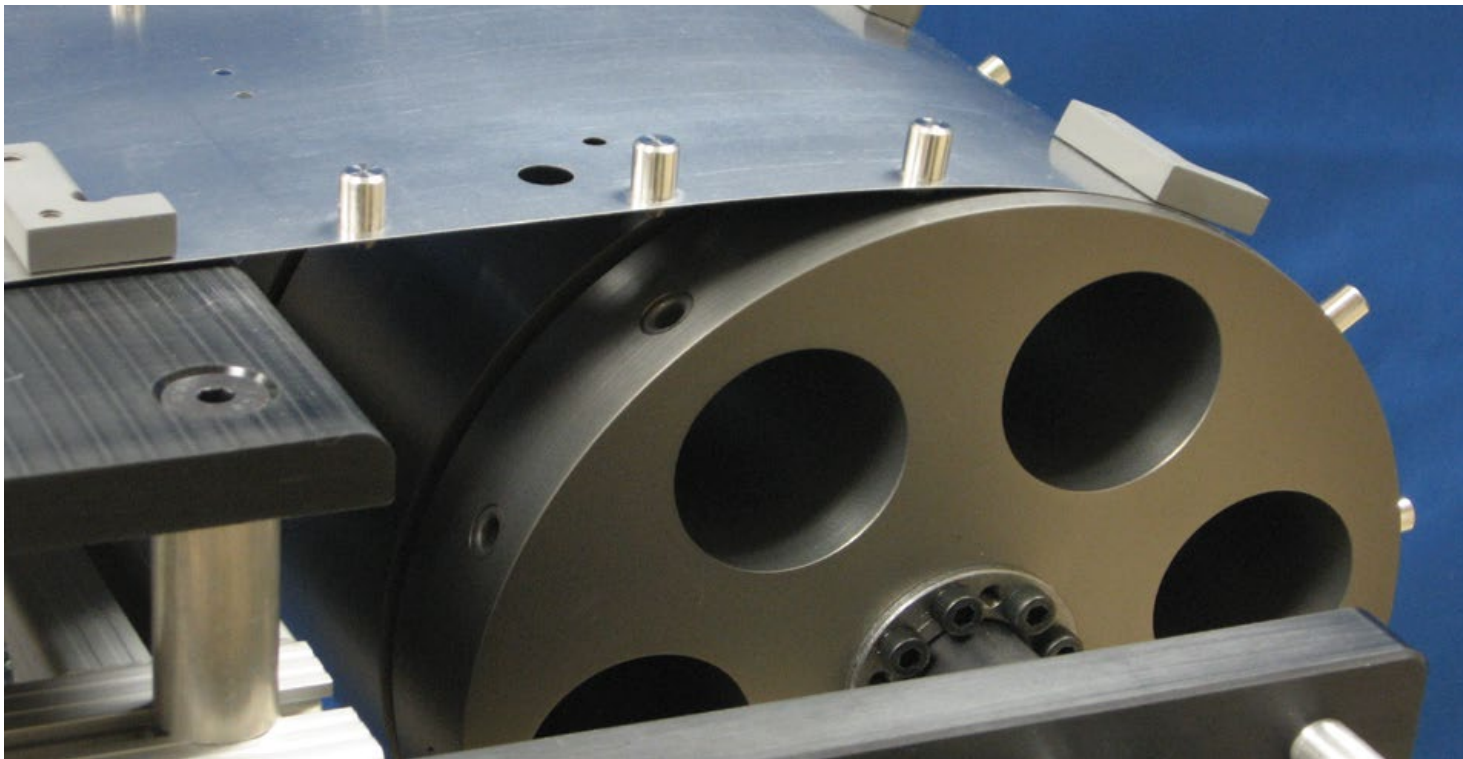


表5. 温度変化に対する物理特性(17-7 CH-900)



プーリーに不適当な材質:

プーリー径が決定された後、設計エンジニアはプーリー本体に最善の材質、即ちプーリーの重さ、腐食性、耐摩耗性、摩擦係数、コストを考慮して決める必要があります。Belt Technologies社が指定・製造したほとんどのプーリーは、ハードコート処理された6061-T6アルミでできています。アルミは軽量かつ加工が容易で、負荷時でも安定しています。これらのプーリーがハードコート処理されると、金属ベルト駆動の際に適切な摩擦係数をもつ耐摩耗性を表面にもたらしめます。タイミングプーリーには、硬質化されたタイミング要素をアルミ製プーリー本体に圧入させることが可能です。歯付プーリーは、ボールベアリングをタイミング歯として使用するBelt Technologies社の特許取得済みデザイン(米国特許番号5,129,865)をベースにしています。代替のタイミング設計では、プーリーのTSD表面に圧入された改良ドリルブッシングを使用します。これらのブッシングは、ベルトのタイミング突起に関わるタイミングポケットの役目を果たします。

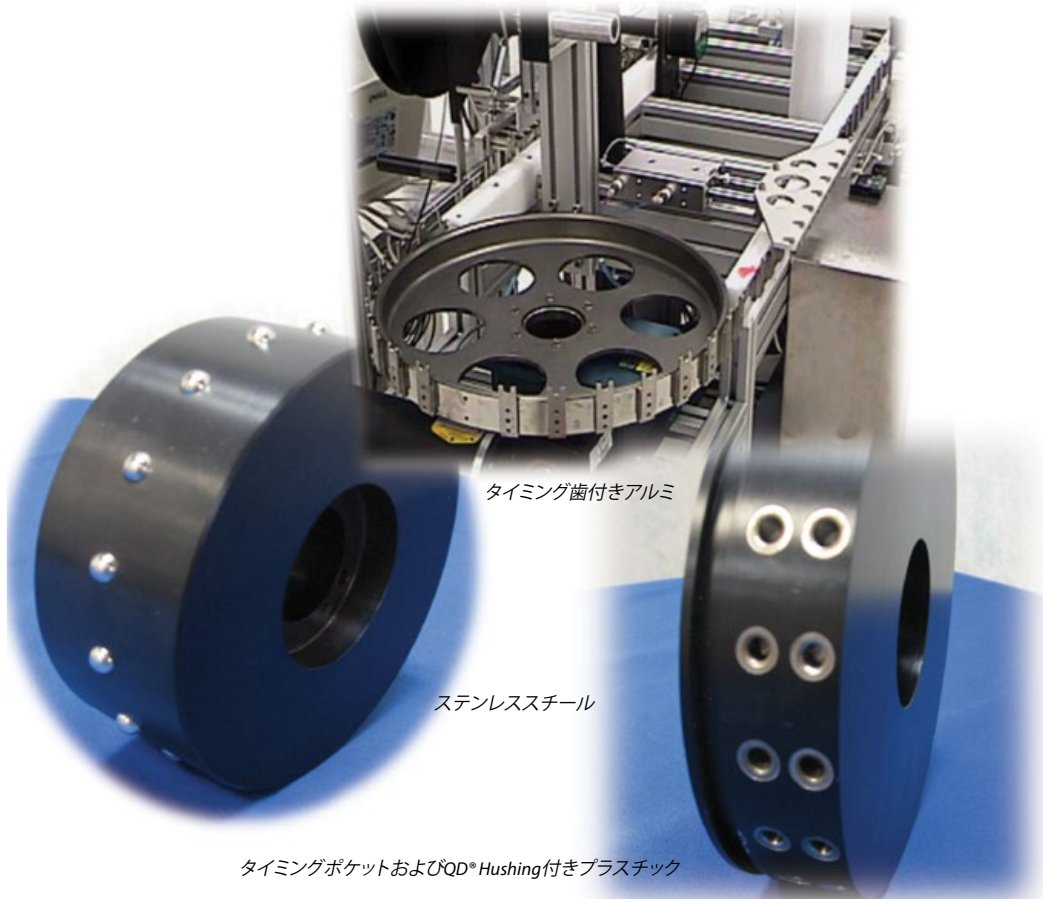
ステンレススチールは、金属ベルトの用途においてプーリー本体の材質として選択的に用いられます。タイプ304が耐食性のために用いられる一方で、タイプ440-Cは耐食性では劣りますが、RC50程度の硬度が必要となる用途に用いられます。これらの選択においては、重さやコストが非常に増加します。タイプ304のケースでは、プーリーが加工される際、温度上昇とそれによる熱膨張により、厳格な精度を保持することが難しくなります。

また、プラスチックおよび複合材料もプーリー本体の材質として使用されます。それらは最も軽量ですが、最もコストがかからないとは限りません。アルミを使用する際は、硬質化されたタイミング要素をプーリー本体に圧入させることが可能です。また、QD®ブッシングを用いて穴やキー溝、タップを追加することが可能です。適切な材質を選択することで、優れた耐摩耗性をもたらし、粒子状物質を生成させず、摩擦係数を金属ベルトに適合させることができます。

以下は、示された材質から成る硬質の円形金属材料の重さ(ポンド)を割り出すための式です。

ステンレススチール	$(.223 \times D2) \times \text{幅}$
アルミ	$(.077 \times D2) \times \text{幅}$
プラスチック	$(.040 \times D2) \times \text{幅}$

幅に関しては、ほとんどの金属ベルトプーリーはベルト幅と同じ表面幅を有しています。200mm (8")以上のベルト幅を使用する用途では、プーリーの表面幅をベルト幅のほぼ半分にするのが、実行可能な設計オプションとなります。この種のプーリーは、幅の狭いプーリーとして知られています。設計エンジニアは、ベルトトラッキングを容易かつ軽量にし、コストを抑えるために幅の狭いプーリーを使用します。



タイミング歯付きアルミ

ステンレススチール

タイミングポケットおよびQD® Hushing付きプラスチック

径:

プーリーを金属ベルト用途に設計する際、必須となる設計事項はプーリーの径です。径を決定する際には、2つの考慮事項があります。システムの設計制約に対する最善の径、そして金属ベルトで最適な性能および寿命を確保するための曲げ応力に対する最善の径があります。

与えられた用途における適切な径は、プーリー径対ベルト厚比率によって決定されます。理想では、この比率は625:1以上になります。この関係は通常、金属ベルトの降伏力の1/3である合計応力をもたらします(合計応力は曲げ・使用量・負荷応力を足したものです)。

径対厚み比率が減ると、ベルトの曲げ応力が増し、ベルトの寿命が減ります。Belt Technologies社が行った曲げ応力寿命テストをもとに、以下の表では、摩擦駆動システムでの各プーリー径対ベルト厚比率において予想されるベルトの寿命を示しています。ベルトの寿命に影響を与え得るその他の応力は考慮されていません。



表1. 摩擦駆動システムでの各プーリー径対ベルト厚比率において予想されるベルトの寿命

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
ここでの関係は、プーリー 2 個の摩擦 駆動システムを基にしたものです。	

金属ベルトを用いたタイミングプーリーは、金属タイミングベルトが中立軸で駆動するように、O.D. (またはテープサポート径として知られる金属ベルト、もしくはTSD) で設計されなければなりません。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。

ほとんどのシステムでは、中心軸はベルト厚の半分で決定されます。ベルトが中心軸で駆動する結果となる、プーリーのTSDを決定する式を以下に示します。

$TSD = N \times P - t$ ここで

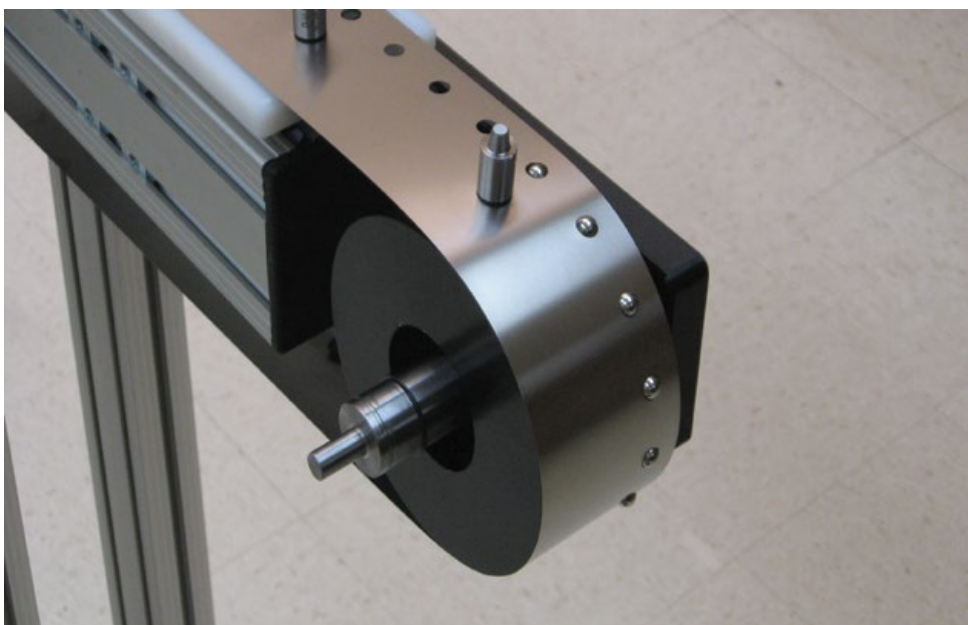
TSD = テープサポート部の径

N = タイミング要素の数

P = タイミングピッチ

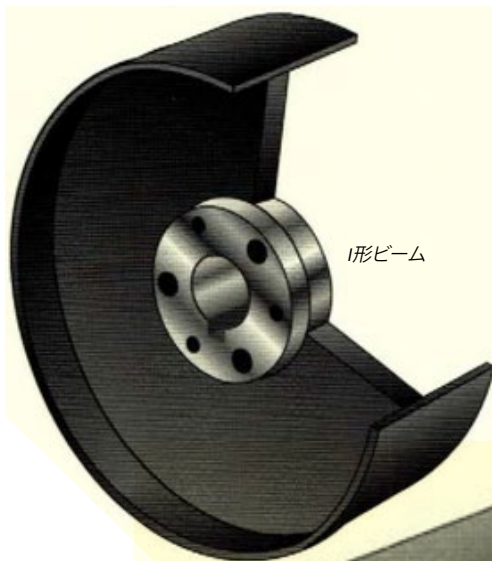
t = ベルトの厚み

タイミングプーリーのTSDは、推奨される625:1のプーリー径対ベルト厚比率により推定され、それから適切なTSDを得るために、タイミング要素数、タイミングピッチ、ベルト厚間でバランスを取るために調節されます。



プーリーに不適当な形状:

自動組立および検査システムにおける高処理・高精度の位置決めには、軽量かつ低回転慣性のプーリーが必要となります。システムのインデックス設定がベルトまたはプーリーシステムに統合されるとき、硬質の円形金属材料によるプーリーは適切な設計ではないと感じるかもしれません。代替となるプーリー本体の設計には、I形ビームおよびキャップ付き円筒があります。I形ビーム設計は表面幅が200mm(8")までのプーリーに使用され、それ以上であればキャップ付き円筒が適切な設計となります。I形ビームには多量の加工が必要となり、キャップ付き円筒には更なる製造工程が必要となるため、双方とも比較的成本がかかります。



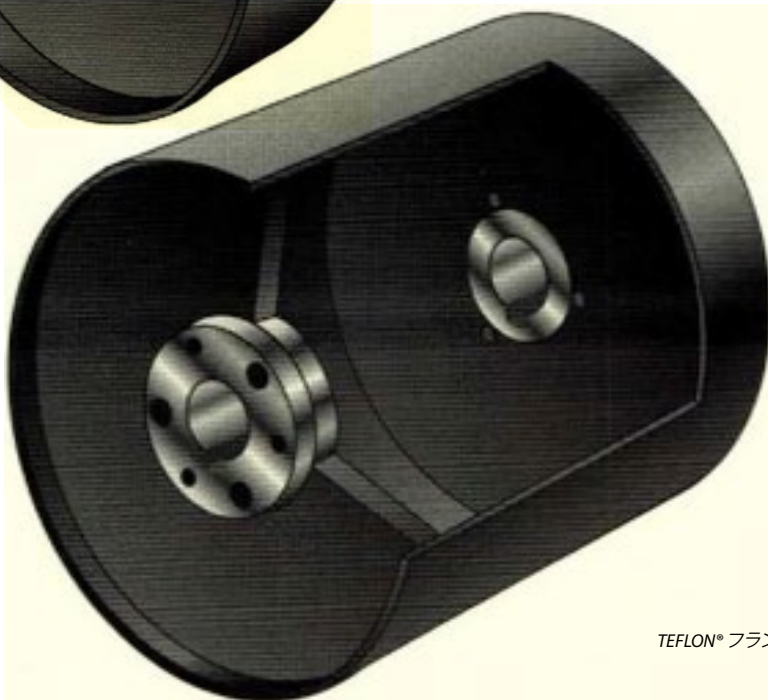
I形ビーム

トラッキング:

プーリーの設計を考慮する際、設計エンジニアは金属ベルトがどのようにトラッキングされるかを考える必要があります。プーリー表面のクラウン加工やフランジの使用等の従来の弾性ベルトトラッキング設計は、金属ベルトのトラッキング補助のためだけに選択的に使用されます。クラウン加工のプーリーは、金属ベルトのオフトラッキング特性を安定化させますが、金属ベルトを中心に戻すようにはできません。後に説明するTeflon®フランジを除くフランジ加工は、ベルトの寿命を犠牲にします。

ベルトのトラッキング特性は、ベルト上における制御できない応力や力の作用です。Belt Technologies社では、設計エンジニアの利益となるよう、これらの応力や力を制御することをお勧めいたします。ベルトおよびプーリーは、プーリー軸調節により互いに調整しあっています。ベルトは、ベルト幅の中心およびプーリー幅の中心において安定したトラッキング状態に導かれます。

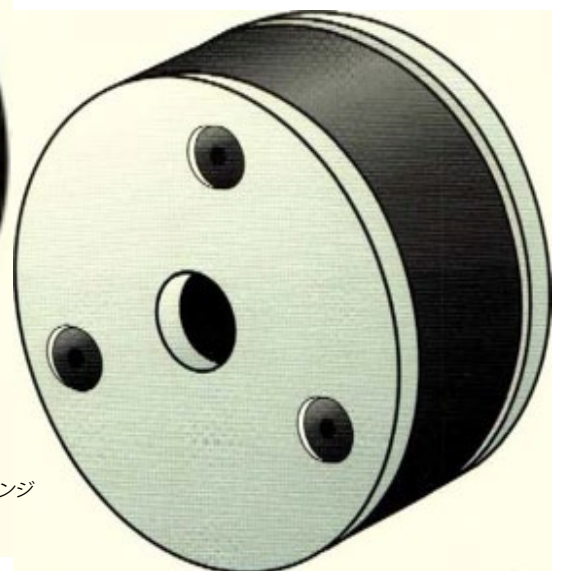
キャップ付き円筒形



従来では、軸調節はプーリーシャフト末端軸受台を上下左右に調節し、ベルトトラッキングはそのような調節の繰り返しにより行われていました。Belt Technologies社の独立可動プーリー(米国特許番号 5,427,581)を使用すれば、より容易に行うことができます。この設計は、アイドラープーリー本体に圧入された可動カラーおよび軸受機構の使用をベースにしています。プーリーシャフトを回転させることで可動カラーが回転し、シャフトに対するプーリー表面の角度を変化させます。このように応力や力を制御することにより、ベルトのトラッキングを素早く動的に行います。

フランジの使用に関しては、フランジのベルト縁に対する回転剥離運動がベルトの寿命を減らすため、Belt Technologies社では金属フランジの使用をお勧めしません。しかし弊社は、.005インチという薄さの金属ベルトに使える、ガラス充填Teflon®を使用する設計を完成させました。Teflon®フランジは、フランジとプーリー本体の両方のボルト穴を使用してプーリー本体に取り付けます。実行可能な設計オプションではありますが、慎重さを期するなら同設計は短期の強制トラッキングに用いられるべきです。

本設計ガイドでは、主要なプーリータイプや本体スタイル等の標準的なプーリー設計を説明しています。これには以下が含まれます。摩擦ドライブ、タイプIおよびタイプIIタイミング、I形ビーム、キャップ付き円筒、およびBelt Technologies社の特許番号 5,427,581 独立可動プーリー。



TEFLON® フランジ

摩擦プーリー設計:

ベルトの寿命を最大限に伸ばすため、金属ベルトには可能な限り摩擦プーリーを用いるべきです。タイミングまたは再現性が必要となる用途では、タイミングプーリーがシステムを駆動する側に用いられ、摩擦駆動プーリーが駆動される側に用いられます。

上図および表は、摩擦プーリー設計の一般的な寸法および相対する公差を示しています。トラッキングに関する問題を最小限に抑えるため、Belt Technologies社ではこれらのプーリーを0.05 mm (0.002") の同心度で製造しています。

またBelt Technologies社では、各用途に合わせたプーリーを製造しています。示されたTSDサイズは例示目的のみであり、サイズ範囲およびその他設計領域との相互関係を正確に説明するものです。

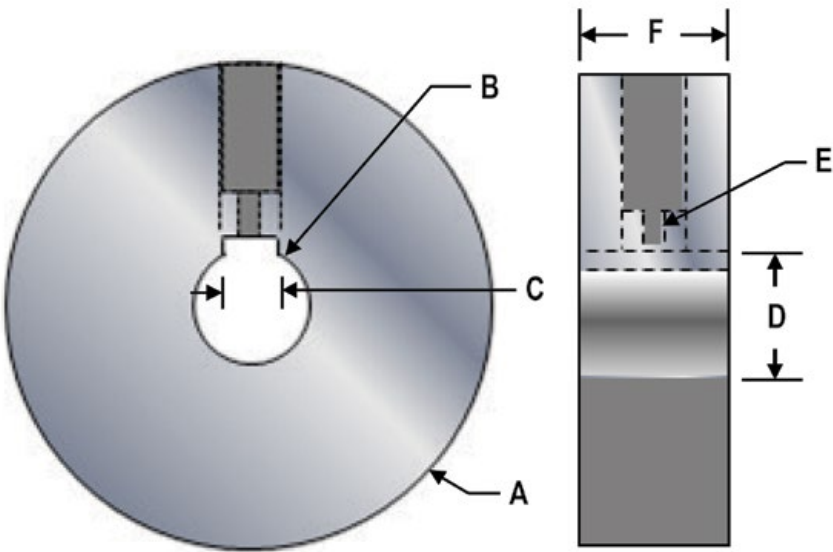
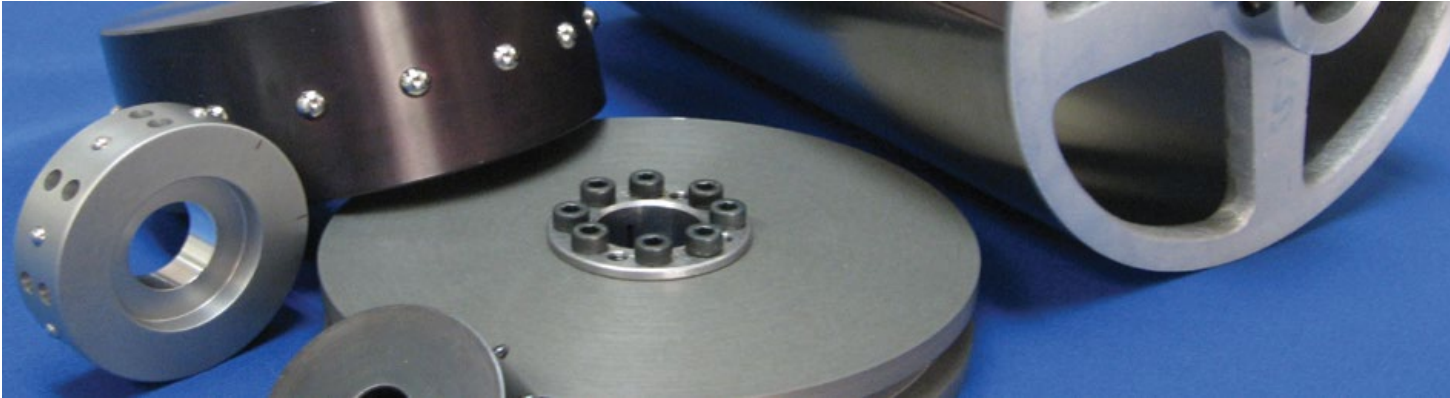


表3. 摩擦プーリー設計の一般的な寸法および相対する公差

A	B	C	D	E	F	F
TSD	穴	キー溝幅	キー溝高	UNFタップ	最小幅	最大幅
+0.002	+0.0015	+0.002	+0.010	該当なし (N/A)	+0.010	+0.010
-0.002	-0.0000	-0.000	-0.000	該当なし (N/A)	-0.010	-0.010
2.000	0.7500	0.188	0.837	V4- 28	0.250	6.000
3.000	1.0000	0.250	1.114	5/16- 24	0.375	6.000
4.000	1.0000	0.250	1.114	5/16- 24	0.500	6.000
6.000	1.2500	0.313	1.178	3/8 - 24	0.500	4.000
8.000	1.2500	0.313	1.178	Ye - 24	0.500	3.000
10.000	1.2500	0.313	1.178	3/8- 24	0.500	2.000
14.000	1.2500	0.313	1.178	Ye - 24	0.500	2.000



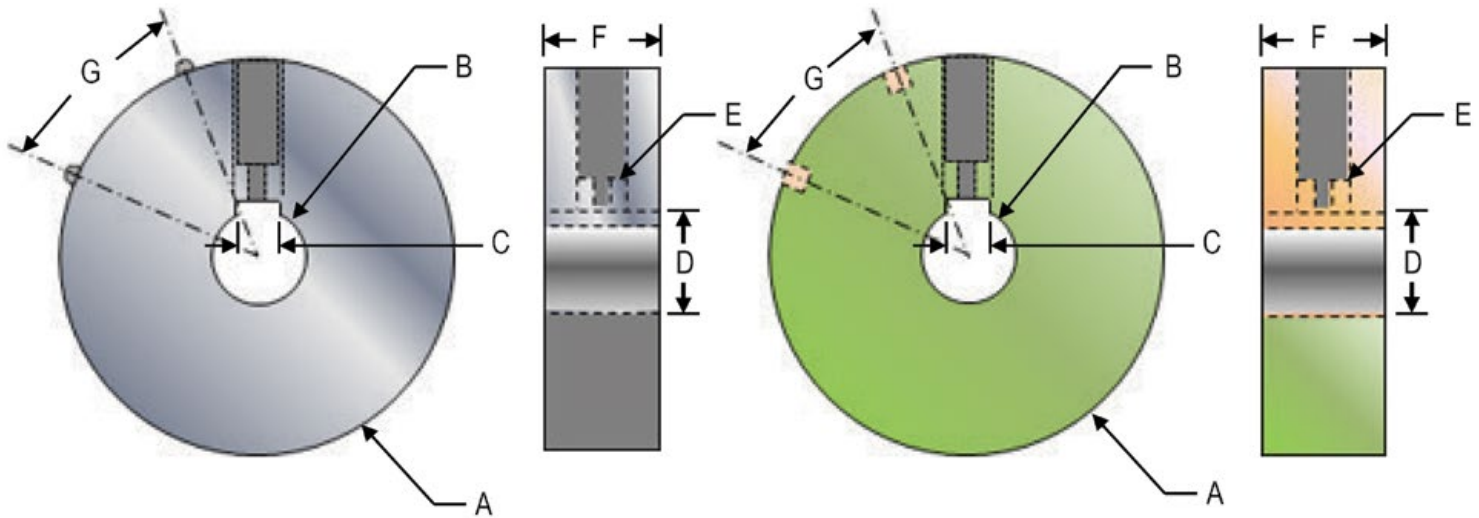


表3. 摩擦プーリー設計の一般的な寸法および相対する公差

A	B	C	D	E	F	F
TSD	穴	キー溝幅	キー溝高	UNFタップ	最小幅	最大幅
+0.002	+0.0015	+0.002	+0.010	該当なし (N/A)	+0.010	+0.010
-0.002	-0.0000	-0.000	-0.000	該当なし (N/A)	-0.010	-0.010
2.000	0.7500	0.188	0.837	V4- 28	0.250	6.000
3.000	1.0000	0.250	1.114	5/16- 24	0.375	6.000
4.000	1.0000	0.250	1.114	5/16- 24	0.500	6.000
6.000	1.2500	0.313	1.178	3/8 - 24	0.500	4.000
8.000	1.2500	0.313	1.178	Ye - 24	0.500	3.000
10.000	1.2500	0.313	1.178	3/8 - 24	0.500	2.000
14.000	1.2500	0.313	1.178	Ye - 24	0.500	2.000

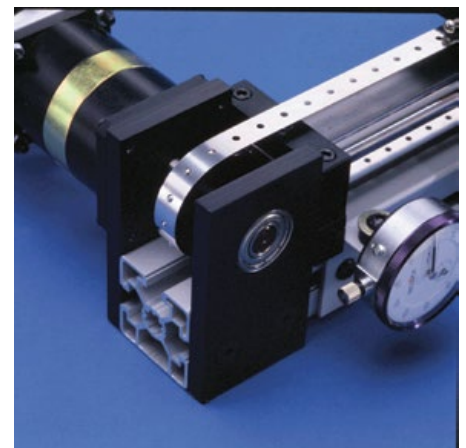
タイミングプーリー設計

Belt Technologies社のタイミングプーリー設計では、硬質タイミング部品が圧入された、ハードコート処理されたアルミを取り入れています。

上に示されたタイプ1タイミングプーリーでは、プーリー本体に圧入された硬質歯が、ベルトの穿穴に関与します。タイプIIタイミングプーリーでは、改良されたドリルブッシングが、金属ベルト上のタイミング突起に関与します。

タイミングプーリーの径はベルトが中立軸で駆動するように設計されねばならないため、表に例示されたTSDは304.8mm(1.000")のタイミングピッチおよび0.127mm(0.005")のベルト厚を基にしています。

摩擦ドライブの設計に関しては、Belt Technologies社のタイミングプーリーは0.050mm(0.002")の同心度で製造されています。タイミングプーリーにおけるその他の重要な公差は、両プーリータイプにおいて+1~10秒の半径位置公差(G)で、タイプIにおいては相互真位置が0.076mm(0.003")以下の歯高公差です。



I形ビームおよびキャップ付き円筒:

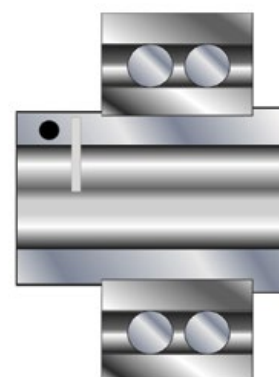
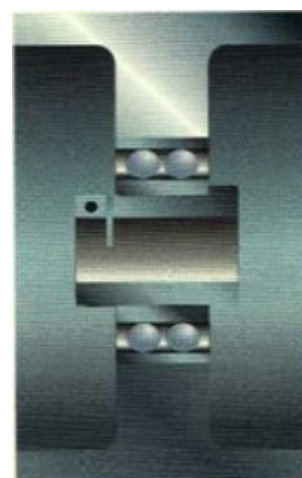
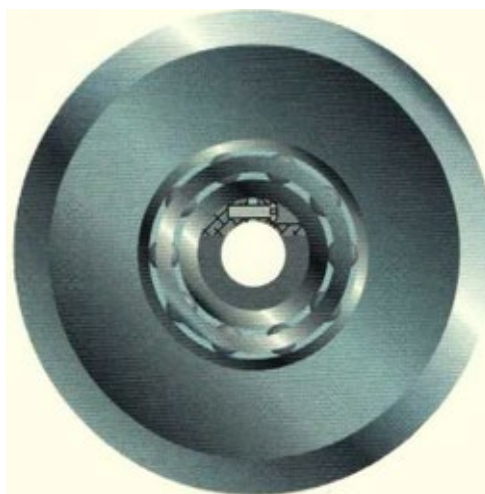
プーリーを設計する際、最も基本的な考慮すべきことは、摩擦プーリーとタイミングプーリーのどちらを使用するかということです。それが決定された後、設計エンジニアは特定の用途に最適な追加の設計特性を取り入れます。硬質円形金属プーリーの設計が全体のシステム目標に適合しない（主に、積極的な精度位置決め動作設定による低回転慣性が必要となる）場合、プーリー本体をI形ビームまたはキャップ付き円筒構造に変更することが可能です。

両タイプのプーリーとも、QD® プッシング、Tran-Torque® カラー、Ringfeder® ロッキング機構等の各種ロッキング機構を通じて、またはBelt Technologies社の独立可動プーリー設計の可動カラーによって、シャフトに取り付けます。

これらの設計は、純粋なプーリーよりも複雑な性質を有するため、詳細な設計ガイドラインは本書がカバーする範囲を超えるものです。上に示された図は、Belt Technologies社のエンジニアがお客様の用途に対して手助けをするための、設計

可動カラーを用いたI形ビーム

最小プーリー径	4.00
最大プーリー径	16.00
最小表面幅	3.00



Iキャップ付き円筒

最小プーリー径	4.00
最大プーリー径	14.00
最小表面幅	6.00

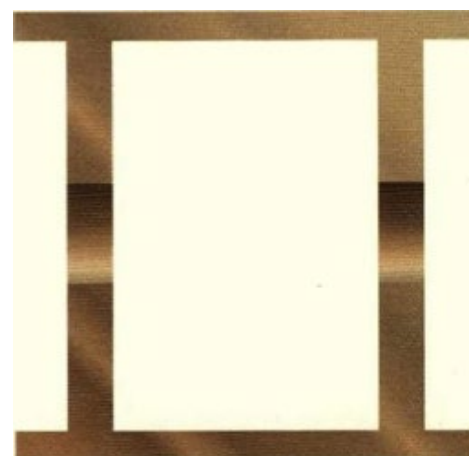
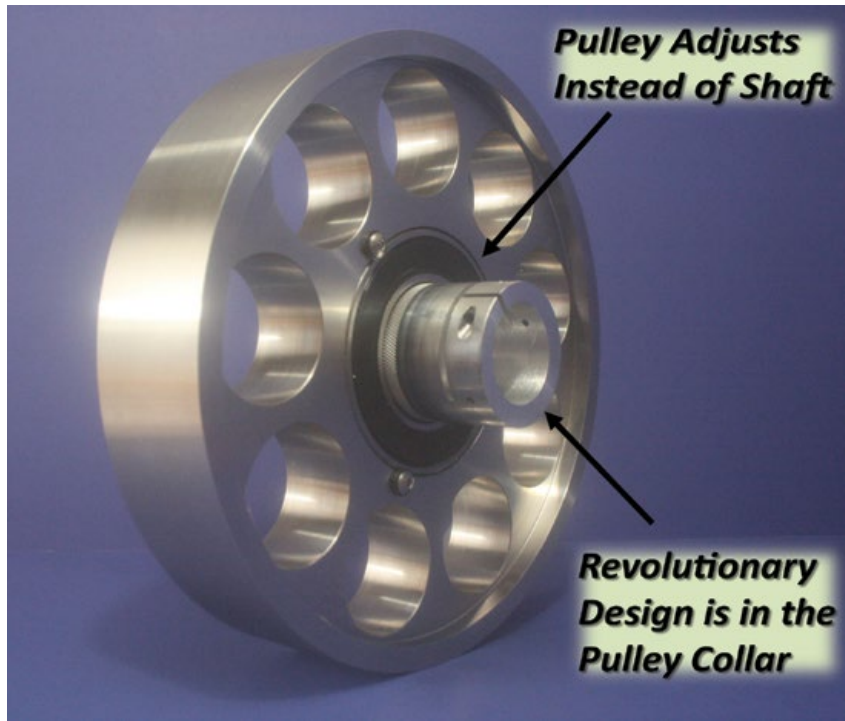


表5. 温度変化に対する物理特性(17-7 CH-900)

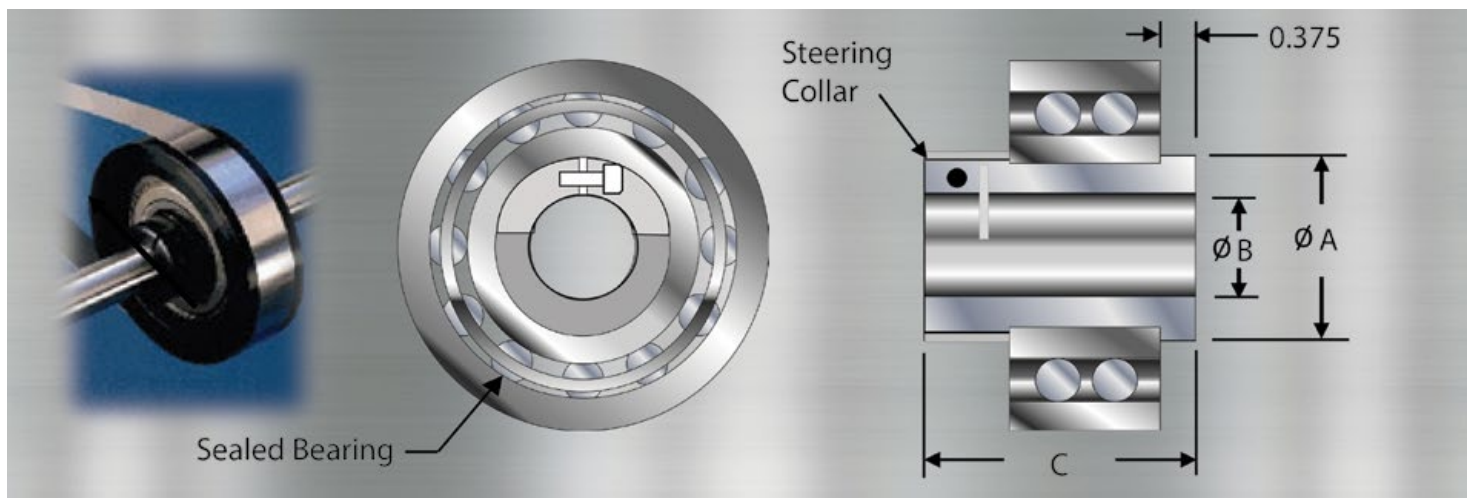


独立可動プーリー:

可動カラーベアリング機構は、ソリッドボディまたはI形ビームとして構築された、摩擦駆動アイドラープーリーに圧入されています。可動カラーは、シャフトにプーリーを取り付ける方法、そしてベルトが動的にトラッキングされる手段という2重の役割を果たします。更なる詳細については、Belt Technologies社の独立可動プーリーの製品データシートを参照してください。

システムに合うプーリー機構のサイズに関して設計エンジニアをアシストするため、以下の図と表で可動カラー部品全体の設計寸法を示します。

キャップ付き円筒プーリーは、この設計コンセプトとは異なります。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。



	A	B +0.001 (+.025mm) -0.000	C
-1	1.20 (30.48)	.500 (12.70)	1.956 (49.682)
-2	1.50 (38.10)	.750 (19.05)	2.331 (59.207)
-3	2.50 (63.50)	1.000 (25.40)	2.393 (60.782)
-4	2.50 (63.50)	1.250 (31.75)	2.893 (73.482)
-5	3.00 (76.20)	1.500 (38.10)	3.456 (87.782)
	(mm)		

まとめ:

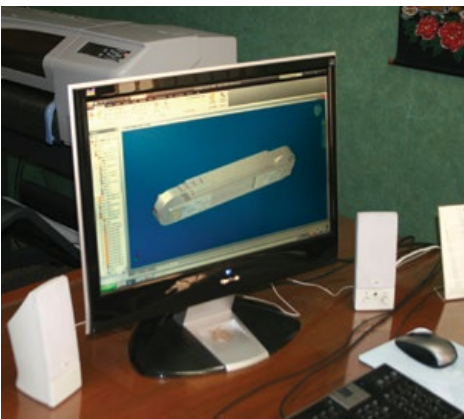
どのような精密技術においてもそうですが、金属ベルトの設計と摩擦・タイミングプーリーの製造の両方における独自性を保つには、設計に関する経験と、製造に関する専門知識が必要となります。Belt Technologies社は、お客様が本書ならびに設計ガイド、エンジニア用金属ベルト参照マニュアルをご利用になり、お客様の目的を達成するために弊社の設計・アプリケーションエンジニアにご相談されることを望んでおります。



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込み検討する助けとなり得ることを希望するものです。弊社独自の金属ベルト技術は、多くのお客様に満足いただける幅広いソリューションとしてご利用になれます。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にてお問い合わせください。

次頁にある設計チェックリストに用途の詳細をご記入の上、ファックス送付してください。Belt Technologies社をご検討いただき、誠にありがとうございます。



スチールベルト設計チェックリスト

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。

英国・欧州・アジア地域：

Belt Technologies Europe
West Suite 6, Ground Floor, Riverside House,
The Waterfront, Newburn Riverside Industrial Park,
Newcastle upon Tyne NE15 8NY,
United Kingdom
電話：44-191-4153010
Fax: 44-191-4150333
ウェブサイト: <http://www.BeltTechnologies.co.uk>
ウェブサイト: <http://www.BeltTechnologies.de>

北米・中央・南米地域：

Belt Technologies, Inc.
本社
11 Bowles Road
Agawam, MA 01001
USA
電話：(413) 786-9922
Fax: (413) 789-2786
E-Mail: engineer@belttechnologies.com
www.belttechnologies.com

記入者：_____ (氏名)

_____ (Tel / Fax)

1. 用途：
☐ 搬送 ☐ インデックス ☐ タイム ☐ ポジション ☐ 動力伝達

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 ☐ 精度 ☐ 清潔さ ☐ 耐腐食性 ☐ 熱伝導率 ☐
高温 _____ ☐ °C ☐ F

5. 数量：
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ください。



北米・中米・南米地域:

Belt Technologies, Inc.

本社

11 Bowles Road

Agawam, MA 01001

USA

電話: (413) 786-9922

Fax: (413) 789-2786

E-Mail: engineer@belttechnologies.com

www.belttechnologies.com

Belt Technologies Europe

West Suite 6, Ground Floor, Riverside House,

The Waterfront, Newburn Riverside Industrial Park,

Newcastle upon Tyne NE15 8NY,

United Kingdom

電話: 44-191-4153010

Fax: 44-191-4150333

ウェブサイト: <http://www.BeltTechnologies.co.uk>

ウェブサイト: <http://www.BeltTechnologies.de>