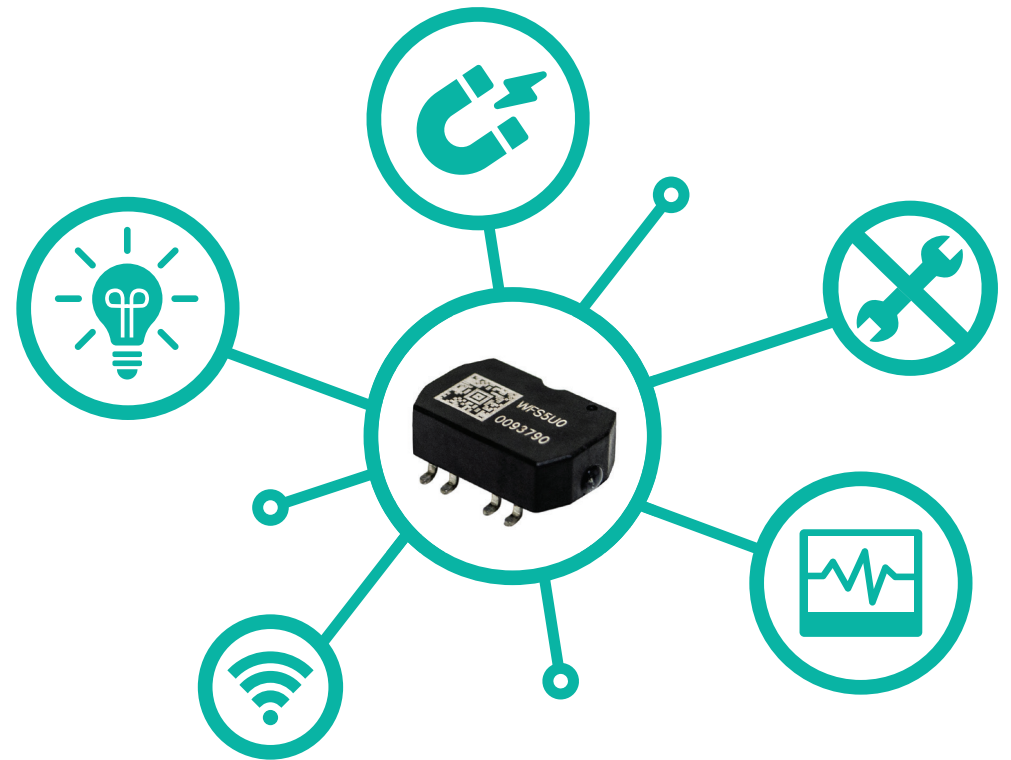


## ウィーガンド (Wiegand) ワイヤの素晴らしさ： エネルギーハーベスティング、モーションセンシングなどに適用

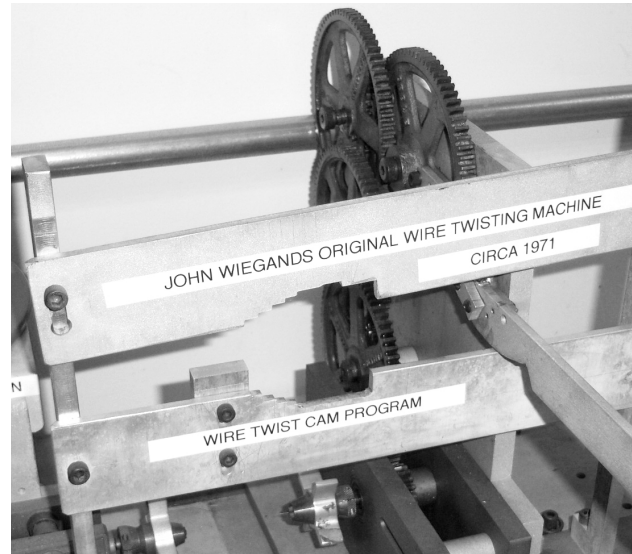
「ウィーガンド (Wiegand) 効果」は約50年前に発見され、いくつもの特殊なアプリケーションで成功裏に使用されてきました。しかし、エネルギーハーベスティングや信号発生におけるその潜在的な可能性は、限定的にしか認識されていませんでした。最近ウィーガンド効果によるエネルギー出力が強化され、無線通信用の超高効率な新世代の電子チップが登場したことで、この技術は、特にモノのインターネット (IoT) という興味深い新分野で大きな可能性を示しています。テクノロジー企業FRABAグループの一員であるUBITOは、この期待に応えるべく、研究開発プロジェクトをリードしています。



限定的に認知されていたエネルギーハーベスティング技術がニッチ  
を見つけ、その時代を迎えているのです。



ジョン・ウィーガンド氏の研究室での作業風景



ジョン・ウィーガンドが設計したワイヤ製造機の原型

## ウィーガンド効果について

ウィーガンド効果とは、1970年代にアメリカの発明家ジョン・ウィーガンドが発見した物理現象で、強磁性体ワイヤを繰り返して伸ばしたりねじったりすることで、その磁気特性を変化させることを発見しました。ウィーガンドワイヤは、反転する外部磁界にさらされると、最初は元の磁性状態を保ちます。しかし外磁場の強さが臨界値に達すると、磁性的に柔らかいワイヤの領域が急激に極性を反転させます。この変化は数マイクロ秒で起こり、これを利用してワイヤに巻かれた細い銅のコイルに電流を誘導することができます。

短いウィーガンド線とその周囲の銅製コイルを組み合わせたものがウィーガンドセンサと呼ばれるものです。このセンサは、UBITOから表面実装型デバイス(SMD)パッケージで市販されています。



ジョン・ウィーガンドが1970年代に発見した物理現象が、現在のウィーガンドセンサに繋がっています。

## ウィーガンド効果はどう違うのか？

ウィーガンドワイヤから発生する電気パルスは非常に短いが、その強さは外部磁場の変化の遅速に関わらずほぼ一定です。電磁誘導を利用したダイナモは、回転運動を電気エネルギーに変換するのに有効ですが、出力電力は回転速度によって変化するため、これがウィーガンド効果の特徴になります。ダイナモをゆっくり回すと、出力レベルが低すぎて役に立たないことがあります。しかしウィーガンドワイヤは、磁界が反転するたびに発生する電気エネルギーの量が、幅広い回転数で一定に保たれます。



**磁界が反転するたびに発生する電気エネルギーは、幅広い速度域で一定に保たれます。**

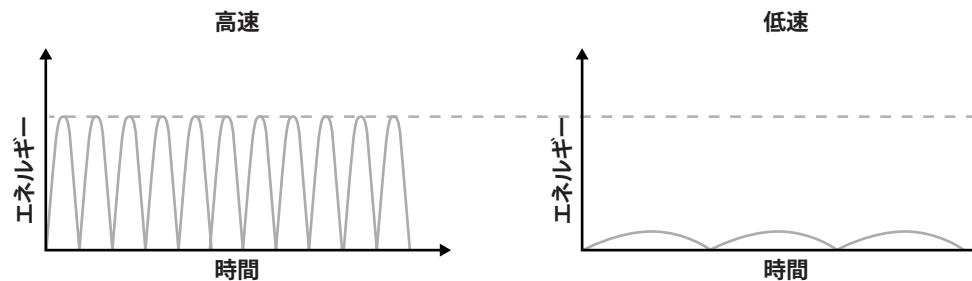
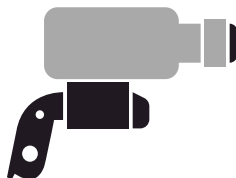
動画を見る

[ウィーガンドテクノロジーはどう違うのか？](#)



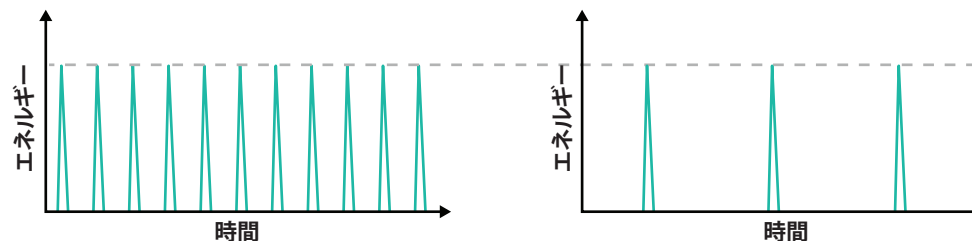
### ダイナモ

従来の誘導型発電機。  
エネルギーは回転周波数に依存する。  
信号の種類: 正弦波



### Wiegandジェネレータ

パルス状の誘導発電機。  
エネルギーは回転周波数に依存しない。  
信号の種類: パルス

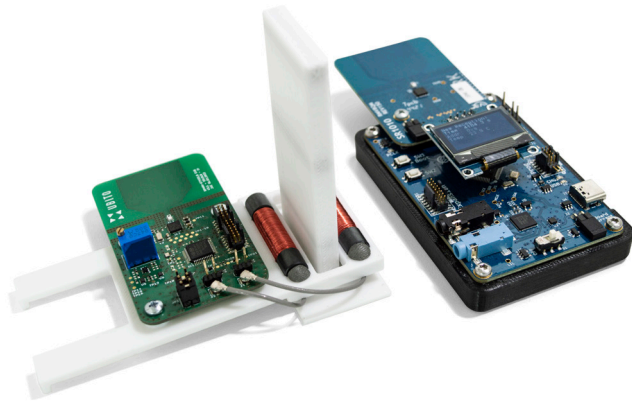


## エナジーハーベスティング：イノベーションを起こす力

「エナジーハーベスティング」とは、局所環境からエネルギーを取り出して電子機器に電力を供給する技術のことです。光起電力（光からのエネルギー）、熱電・焦電効果（温度変化からのエネルギー）、圧電・静電デバイス（機械的運動からのエネルギー）などの利用です。

またウィーガンドセンサもエナジーハーベスティングの有力な技術です。基本的な形では、これらのデバイスは約200ナノジュールというそれほど多くはない量のエネルギーを生成していました。しかし最近の開発により、ウィーガンドセンサのエネルギー出力は大幅に向上し、より多様なアプリケーションへの可能性が広がっています。

FRABAのテクノロジーセンターとラインラントヴェストファーレン工科大学の研究チームが、ドイツ科学技術省の支援を受けて実施した研究開発プログラムでは、発電に最適化された強化型ウィーガンドデバイスを開発しました。これは「ウィーガンドハーベスタ」と呼ばれています。研究者は、一組のウィーガンドハーベスタで最大10マイクロジュールのエネルギー（市販のウィーガンドセンサの出力の約50倍）を生成できることを実証しました。これは送信距離60メートルの低電力超広帯域無線トランシーバーに電力を供給するのに十分なものでした。



UBITOラボプロトタイプ



**最近の技術革新により、市販のウィーガンドセンサのエネルギー出力を最大50倍まで向上させることが実現しました。**

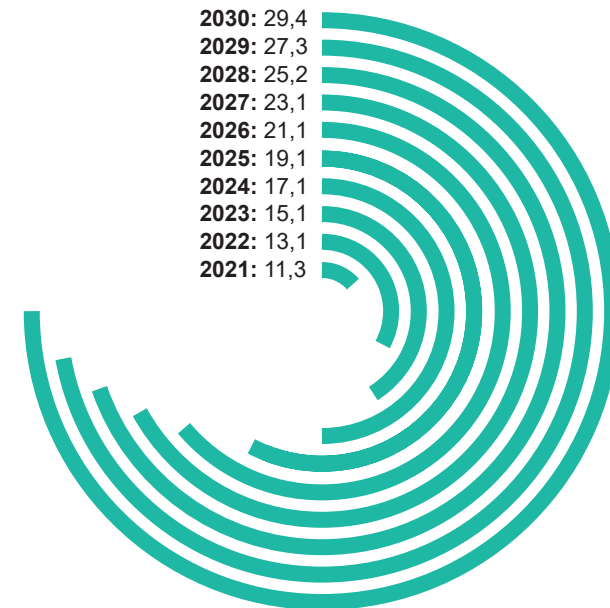
詳細はこちら  
[エナジーハーベスティング](#)



## エネルギー自給自足のIoTノードの構築

回転運動やドアの開閉などの物理的な動作と、追加のセンサーデータ（温度など）と共に、無線通信を通じて信号を監視システムに送信する、完全に自己発電型の新世代のセンサの実現可能性を示しています。このようなエネルギー自給自足でメンテナンスフリーのデバイスは、モノのインターネット（IoT）の重要な構成要素になる可能性があります。FRABAの技術開発責任者であるクリスチャン・フェルは次のように説明します。「IoTのビジョンでは、家庭や商業施設、デジタル工場に何千ものスマートセンサが分布し、監視やセキュリティ、プロセスの最適化にデータを収集することが求められています。これらのデバイスが、周囲から直接電気を得て、動作と無線通信インターフェースの両方に電力を供給すること

で、エネルギー自給自足を実現することができれば、ネットワーク展開を簡素化し、メンテナンスコストを削減するという点で大きなメリットがあります。バックアップバッテリーの設置、点検、廃棄にかかるコストを含め、数千個のバッテリーが必要です。」ウィーガンド効果は、変化する磁場が存在する場所であればどこでも、リモートセンサに優れた電源を提供できる可能性があります。



出典: Transforma Insights © Statista 2022

世界のIoT (Internet of Things) 接続機器数 2021年、2022年から2030年までの予測値



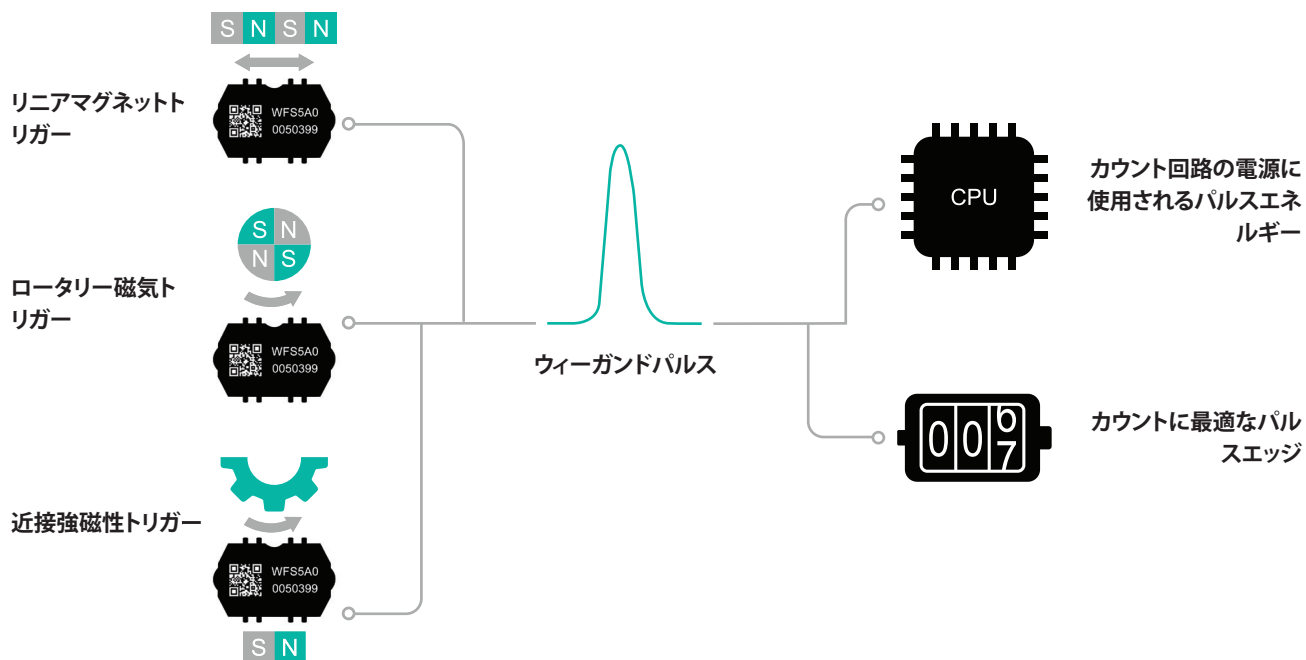
**IoTでは、家庭や商業施設、デジタル工場などに何千ものスマートセンサが配備されています。**

## セルフパワーセンサ用のエネルギーハーベスティング

小さなウィーガンドセンサであっても、極性を変えるたびに発生する電気エネルギーは、限られたものではあっても、低消費電力の電子カウンタ回路を起動させるのに十分です。このようなエネルギーハーベスティングは、POSITAL社やその他のメーカーが製造した100万台以上のエンコーダ（回転測定器）に採用され、成功を収めています。ウィーガンドのエネルギーハーベスティングにより、エンコーダの回転カウンタシステムは、外部電源やバックアップバッテリーを必要とせず、完全にセルフパワーで動作するため、メンテナンスの必要性が大幅に軽減されます。



ウィーガンド効果によるエネルギーハーベスティングは、すでに100万台以上のエンコーダ（回転測定器）に採用され成功を収めています。



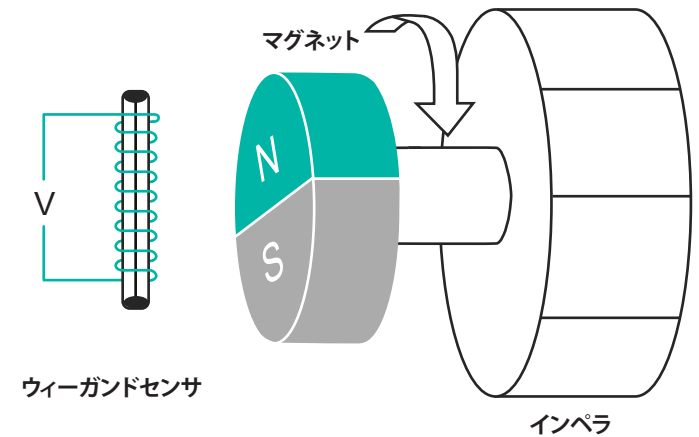
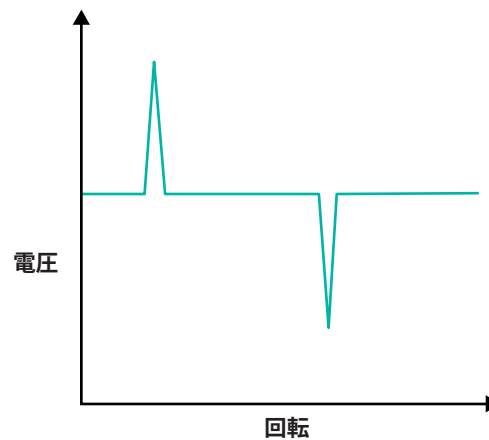


## カウント動作のクリア信号

同様の原理は、水道メーターやガスメーターにも応用されています。ここでは永久磁石をメーターの回転軸に取り付け、ウィーガンドセンサに近づけます。シャフトが回転すると、磁場の回転によってウィーガンドワイヤの極性が急激に反転し、銅コイルに電流パルスが発生します。各電流パルスの強さと持続時間は、シャフトの回転の遅速に依存しないため、ウィーガンドセンサは、他のアナログ磁気センサ（ホール効果センサなど）よりもはるかに高いS/N比を提供します。このためメーターのカウンタ回路は、シャフトの回転ごとに明確な信号を受信することができます。



ウィーガンドセンサは、他のアナログ磁気センサ（ホール効果センサなど）に比べ、非常に高いS/N比を実現しています。



## 非メカニカルな非接触センシング

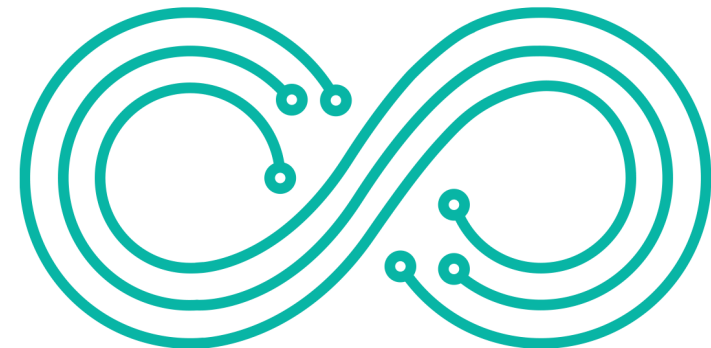
ウィーガンドを使ったイベントトリガーは、タコメーターやホイールスピードセンサにも使われています。この場合、ウィーガンドセンサは逆極性の2つの磁石の近くに配置されます。近くに大きな強磁性体(鉄)があると、一方の磁石の効果が中和され、ウィーガンドセンサの磁場はもう一方の磁石が支配的になります(添付図のN-S)。強磁性体が回転すると、もう一方の固定磁石が中和され、磁場が反転し(S-N)、ウィーガンドワイヤの極

性反転を誘発します。センサと可動部の間に機械的な接触がないため、摩耗がなく数十億回の動作サイクルの耐用年数を実現し、幅広い回転速度で確実に動作します。



センサと可動部の間に機械的な接触がないため  
摩耗がなく、数十億回の動作サイクルの耐用年数  
を持つシステムです。

数十億回の動作サイクル





## ウィーガンド効果の内部

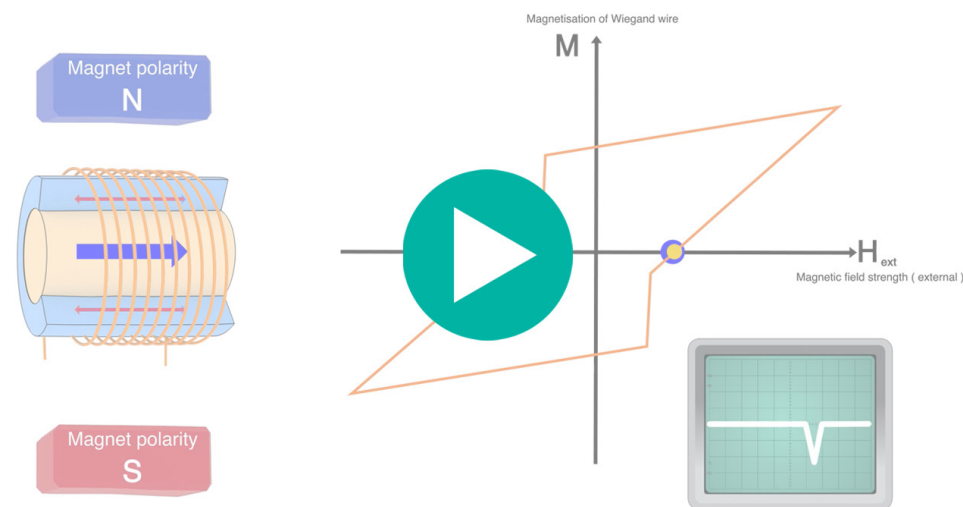
ウィーガンドワイヤは、機械的な加工により、磁氣的に硬い層と柔らかい層が混在しているため、高いレベルの磁気ヒステリシスを有しています。

外部磁界が変化しても、ウィーガンドワイヤは最初の極性を維持します。しかし外磁場の強さが臨界閾値に達すると、ウィーガンドワイヤの磁氣的に柔らかいゾーンの極性が突然反転します。さらに外磁場が強くなると、磁氣的に硬い部分の極性も反転し、ワイヤ全体が新しい磁気状態になります。外磁場が元の極性に戻ると、再び軟質材料が急反転します。やがてワイヤは元の状態に戻ります。

このような芯の磁極の高速反転は、ウィーガンドワイヤに巻かれた細い銅コイルに短いパルスの電流を誘起します。



**ウィーガンド効果の魔法は、ウィーガンドワイヤに見られる高度な磁気ヒステリシスにあるのです。**



[動画を見る](#)  
[ウィーガンド効果](#)



## ウィーガンドワイヤの製造

ウィーガンドワイヤは、バナジウム、鉄、コバルトの合金であるビカロイ (Vicalloy) ワイヤのスプールを焼なまし、同時に伸ばしたりねじったりする工程を経て製造されています。この厳しい冷間加工により、金属の結晶構造が変化し、保磁力の大きく異なる内核と外殻の2つの領域が形成されます。

保磁力とは強磁性体の特性で、外部磁場による磁化のしやすさを表します。軟鋼のような磁氣的に柔らかい材料は保磁力が低く、容易に磁気状態を変化させることができます。一方、永久磁石に使われる合金のような磁氣的に硬い材料は、非常に強い外界にさらされない限り、磁気状態を保持します。この2つの領域の相互作用により、ワイヤは高いレベルの磁気ヒステリシスを持つようになります。

ウィーガンドワイヤは、ジョン・ウィーガンドとその共同研究者が試行錯誤の末に完成させたもので、「レシピ」と呼ばれています。開発されたウィーガンドワイヤ製

造装置は、回転するフレームが、さまざまな速度でワイヤを伸ばし、ねじり、そしてほぐすというものです。この装置は、ジョン・ウィーガンド氏の研究ノートとともにFRABAが譲り受けました。その後FRABAとそのパートナーによる研究により、この工程は自動化され品質と一貫性が最適化されました。



**1970年代に構想されたオリジナルのワイヤ製造工程は、FRABA ウィーガンドテクノロジーセンターによって最適化・自動化されました。**

