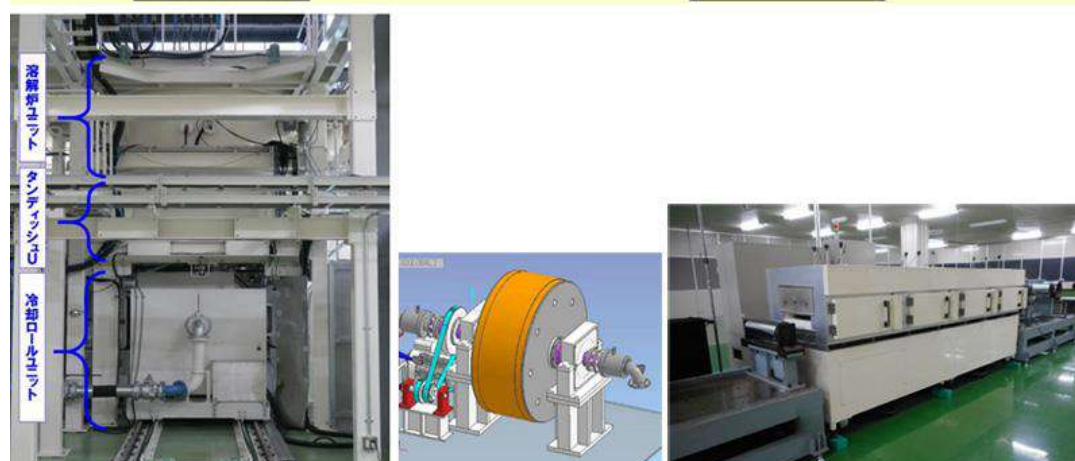
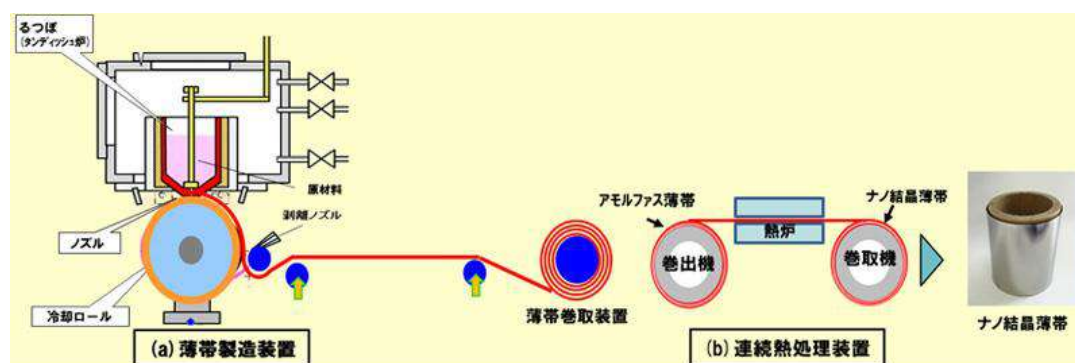


エネルギー損失を最小化する磁性薄帯の量産製造装置を開発  
～電磁鋼板を代替し幅広い機器での省エネ効果に期待～

科学技術振興機構（JST）は、株式会社東北マグネットインスティテュートに委託し、電気エネルギーの損失を最小限に抑える新しい材料として、東北大学で研究開発された超低損失ナノ結晶薄帯の量産化を実現するためのプロセス技術と標準設備を開発しました（図1）。



(a) 薄帯製造装置                      冷却ロールユニット      (b) 連続熱処理装置

図1 開発した薄帯製造装置

上) 装置の全体構成。左から (a) 薄帯製造装置、薄膜巻取装置、(b) 連続熱処理装置

下) 左から (a) 薄帯製造装置の外観、冷却ロールユニットの構造、(b) 連続熱処理装置

超低損失ナノ結晶薄帯は、鉄損が低く（エネルギー効率が良い）、飽和磁束密度が高い（小型化が可能）という優れた特徴があります。本開発では、製品板厚  $3.5 \mu\text{m}$ 、板幅  $250 \text{mm}$  の薄帯を生産できる技術の確立および装置の製作を目標とし、生産設備のるつぼ、ノズル、冷却ロールなどの耐久性を飛躍的に向上させる技術開発も合わせて行いました。

その結果、試作レベルでは幅  $245 \text{mm}$ 、厚さ  $30 \mu\text{m}$ 、さらに量産実証レベルでは生産安定性を加味して幅  $127 \text{mm}$ 、厚さ  $27 \mu\text{m}$  の薄帯の製造に成功しました。

今後はナノ結晶薄帯の生産、販売を開始し、さらなる品質向上と低コスト化および生産安定性強化について検証を続け、幅広く電磁鋼板を代替できる応用製品への適用を目指します。軟磁性材料世界市場規模としては平成29年度において約3兆円で、そのうち本開発品の薄帯が代替できる領域は38パーセントで1兆1400億円に相当します。

#### <開発内容>

##### 1. 薄帯製造装置の開発

まず、薄帯形成のプロセス原理の検証用装置をベースに、規模拡大のための設備設計をしました。低コスト化と不純物の混入防止のため、溶解炉は傾斜型ではなく直立型のるつぼ構造を採用しました。250キログラムの原材料を60分以内に完全に溶解できます。また、中間容器にタンディッシュ炉構造を採用し、冷却ロールとノズルのギャップを自動制御できる構造としました。

次に、薄膜の幅広化と増厚化を実現する大型冷却ロールの設計仕様や、溶解した合金の湯面を安定化させる中間容器のタンディッシュ炉の仕様を、CAE (Computer Aided Engineering) を使って設計し、加熱源であるIHヒーターの誘導加熱の能力や冷却ロールの冷却能力についてもシミュレーションで決定しました。

一方、低コスト化のための要素技術開発として、これまでの薄帯製作では、予め成分調整をした母合金を作製し、溶解から薄帯形成を行っていましたが、本開発では薄帯製造装置に異なった成分(鉄、ケイ素、ホウ素、リン、銅)を直接投入し、炉内で成分調整をすることで、材料費を約90パーセント削減する目途を得ました。るつぼやノズルなどの耐火物の長寿命化は、上記の装置検証の過程で、最適材料を選定、作製した上で、現物で繰り返しテストして耐久性を確認しました。

これらの製造装置で、業界初の広幅245mmの薄帯形成に成功し(図2)、量産化のめどを付けました。



図2 ナノ結晶薄帯（幅127mmと245mm）

## 2. 熱処理装置の開発

薄帯製造装置で形成された薄帯は所定の熱処理を施し、ナノ結晶粒を成長させ仕様に合致した磁気特性となります。熱処理技術の開発においては、実験機での温度プロファイルや結晶化度のデータをもとに、従来の4倍の速度で処理できる装置を開発しました。装置性能として、炉内温度制御：500±2度、材料の昇温能力：400度/分を満たすことで、送り速度200mm/秒において設計通りの温度プロファイルを達成しました。得られた薄帯の磁気特性は、飽和磁束密度：1.77テスラ（T）、保持力：8.3アンペア毎メートル（A/m）を示し、ユーザーの要求仕様を満たしていることが確認されました（図3）。

項目	単位	ナノ結晶 磁性材料 (開発成果)	既存の磁性材料		
			アモルファス	ケイ素鋼板	
磁気特性	飽和磁束密度	T(テスラ)	1.77	1.56	2.03
	保磁力	A/m	8.3	2.0	49
	鉄損 (@1.5T、 50Hz)	W/kg	0.39	0.13	2.4
形状	板厚	μm	30	25	350
	板幅	mm	245	213	メートル オーダー

図3 本開発成果と既存材料との比較

日文新聞发布全文 <https://www.ist.go.jp/pr/announce/20191015/index.html>

文：JST 客观日本编辑部翻译整理