

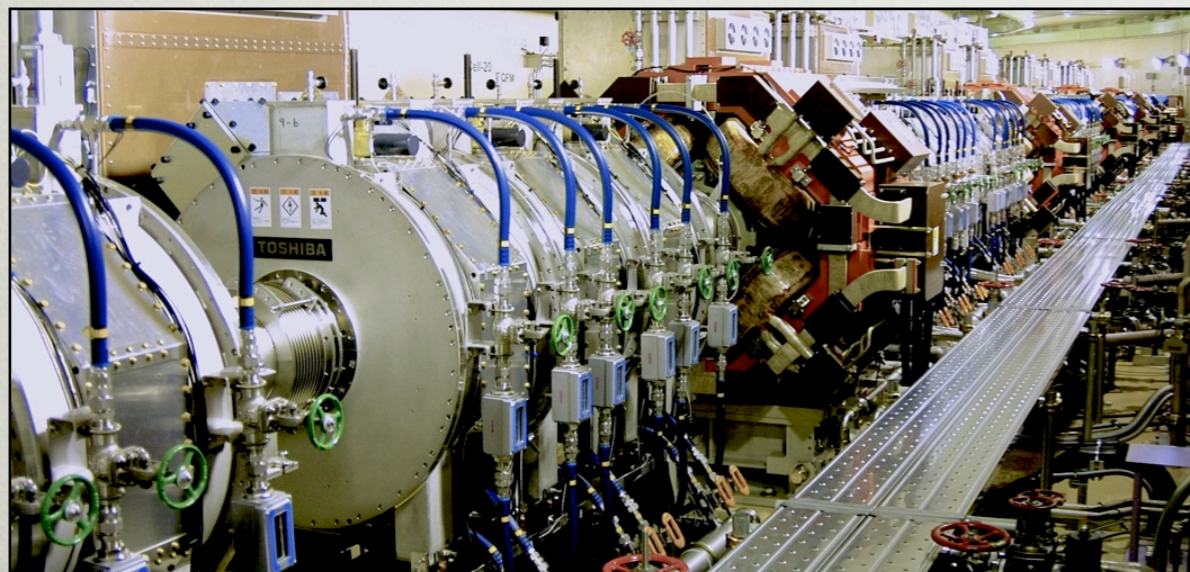
高インピーダンス金属磁性体コアの研究

Study of high impedance Magnetic Alloy core

野村昌弘、山本昌亘、島田太平、田村文彦、
大森千広、戸田信、長谷川豪志、原圭吾、吉井正人、
シュナーゼ アレクサンダー (GSI)

JAEA, KEK J-PARC センター RingRF Gr.

- J-PARC では金属磁性体コア(**FINEMET[®] core**)を用いたRF空洞を採用。
- MR用高シャントインピーダンスコアの開発。
高い加速電圧を発生させ、High Powerのビームを供給。
- 高シャントインピーダンスコアの開発を磁気特性から考察。



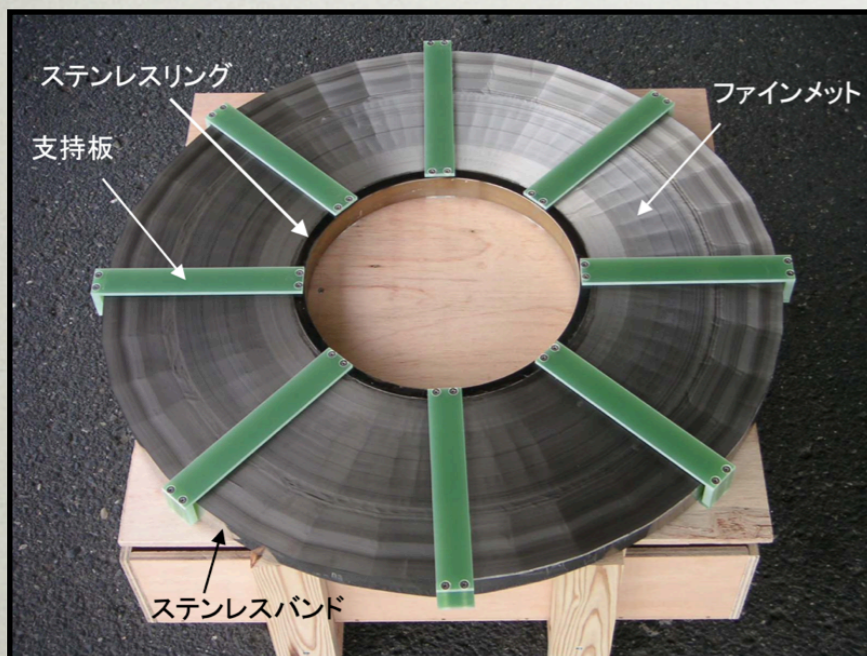
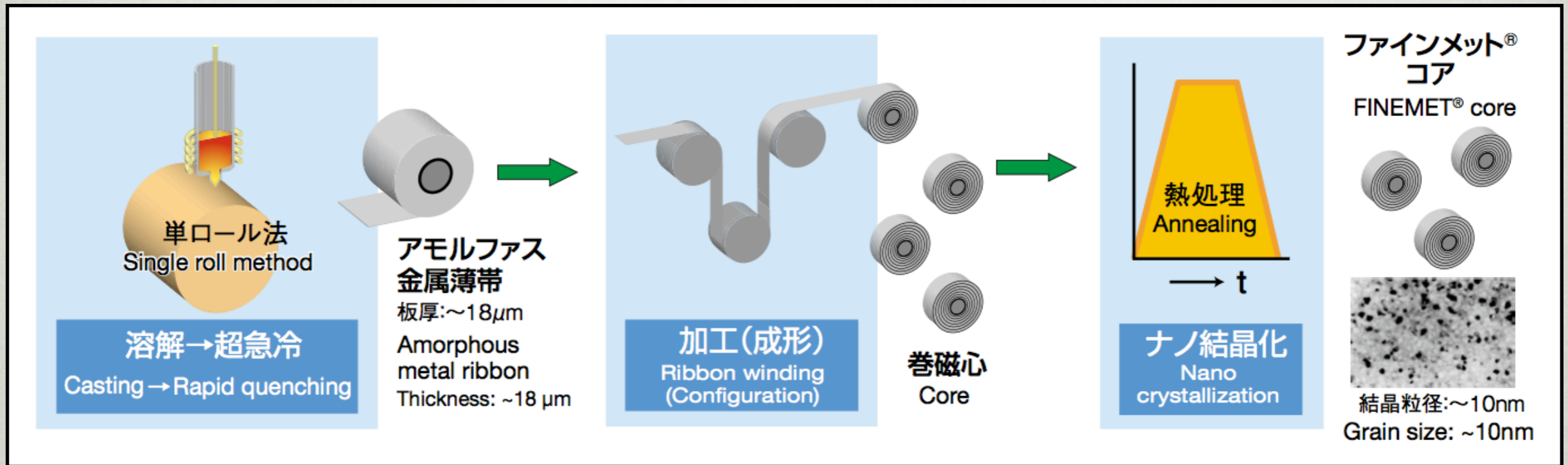
空洞あたりの最大加速電圧:45kV

加速周波数:

RCS 0.94 - 1.67 MHz ($h = 2$)

MR 1.67 - 1.72 MHz ($h = 9$)

日立金属カタログより

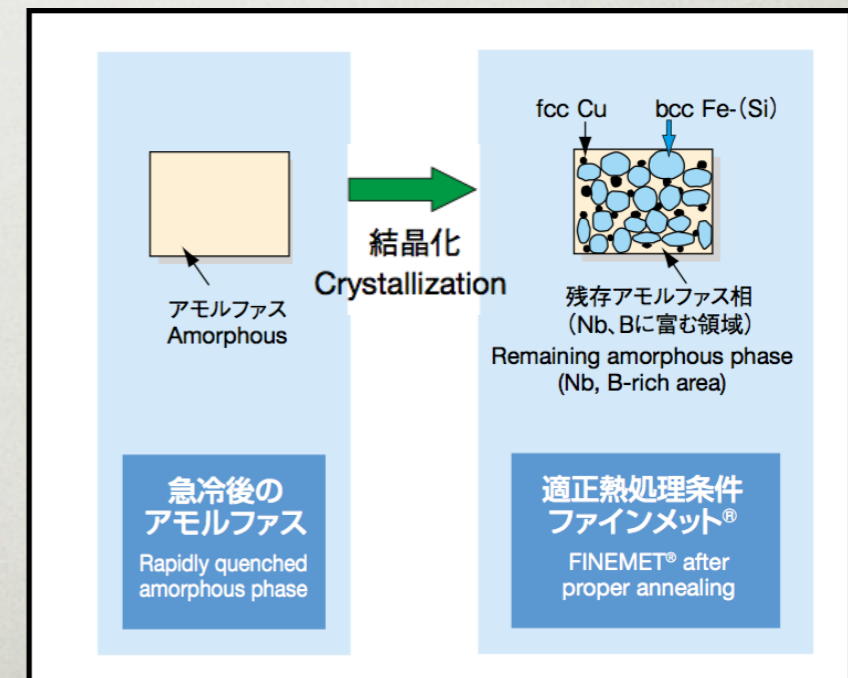


RCS:

内径: 375 mm
外径: 850 mm
厚さ: 35 mm

MR:

内径: 245 mm
外径: 800 mm
厚さ: 35 (25) mm



- 飽和磁束密度が高い ~ 1.2 [T]

高い加速電圧を発生させることができる。

- Q値が低い ~ 0.6

加速周波数変化に追従させる為のチューニンググループが不要。

- 磁歪定数が小さい $\sim 10^{-6}$ 以下

含浸による磁気特性の劣化が少ない。

- コア巻き製造

大型コアの製造が可能。

シャントインピーダンス R_p と複素比透磁率 μ

(4/14)

$$\mu = \mu'_s - i\mu''_s$$

μ'_s : 比透磁率 μ''_s : 抵抗成分

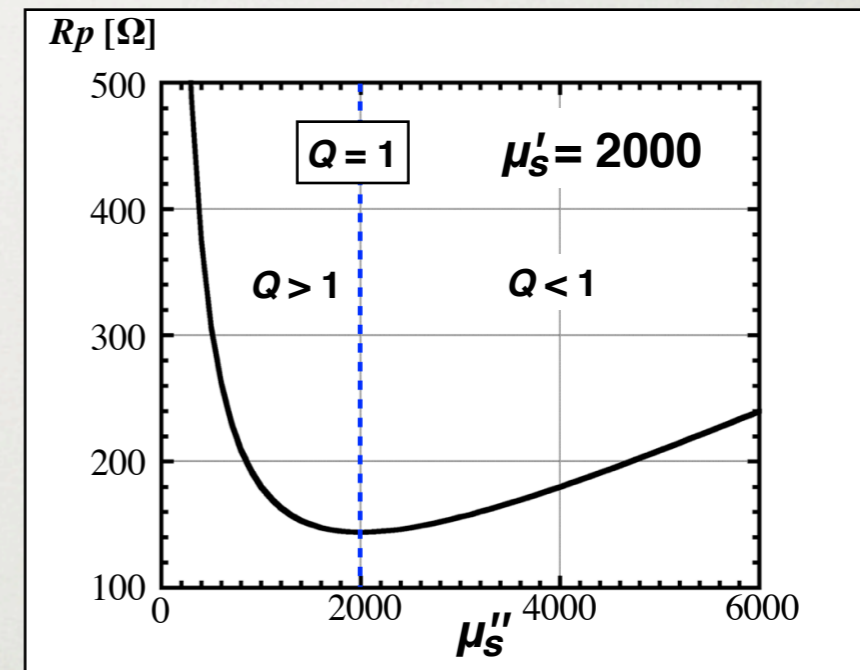
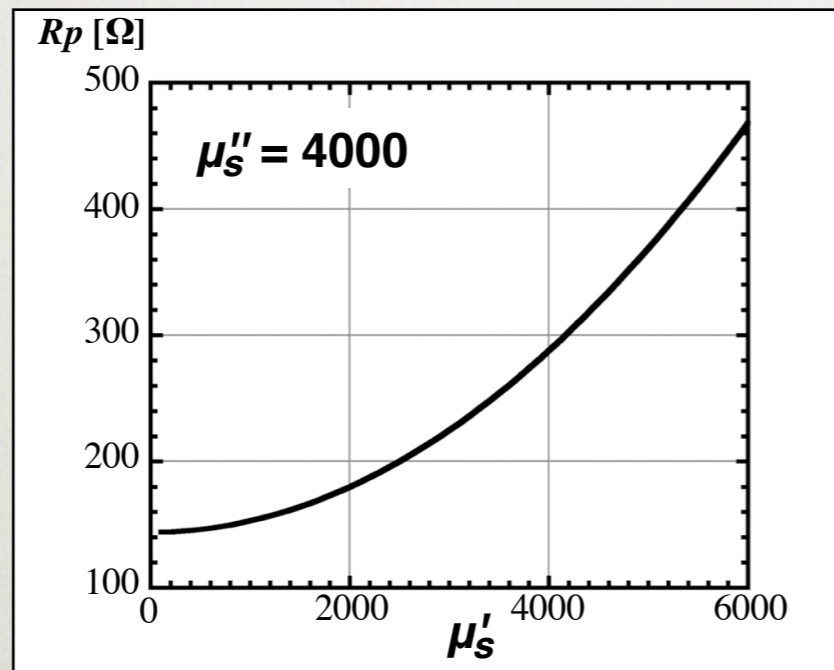
$$R_p = \mu_0 \left(\frac{\mu_s'^2}{\mu_s''} + \mu_s'' \right) f \cdot t \cdot \ln \left(\frac{b}{a} \right) \cdot P_f$$

μ_0 : 真空の透磁率 f : 周波数

t : 厚さ、 a, b : コア内外径 (形状因子)

P_f : 占積率 (Packing factor)

$$Q = \frac{\mu'_s}{\mu_s''}$$



R_p を高めるには

μ'_s を高める。

$Q < 1$: μ_s'' を高める。

$Q > 1$: μ_s'' を下げる。



$Q \sim 0.6$

1. 占積率を高める方法。
2. リボン板厚を薄くする方法。
3. 磁化過程を磁化回転で行う方法。

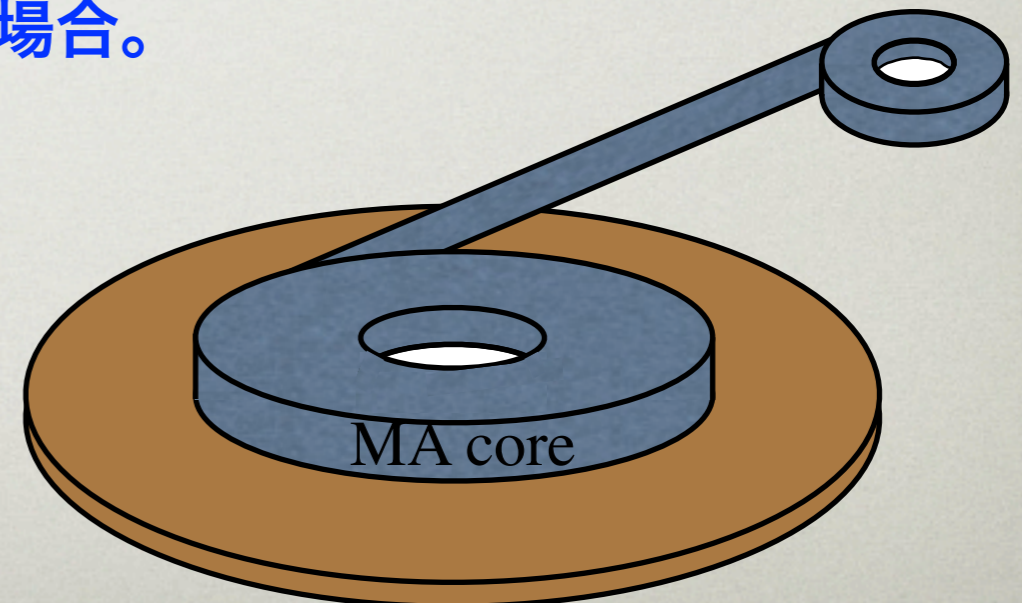
$$R_p = \mu_0 \left(\frac{\mu_s'^2}{\mu_s''} + \mu_s'' \right) f \cdot t \cdot \ln \left(\frac{b}{a} \right) \cdot P_f$$

P_f : 占積率(Packing factor)

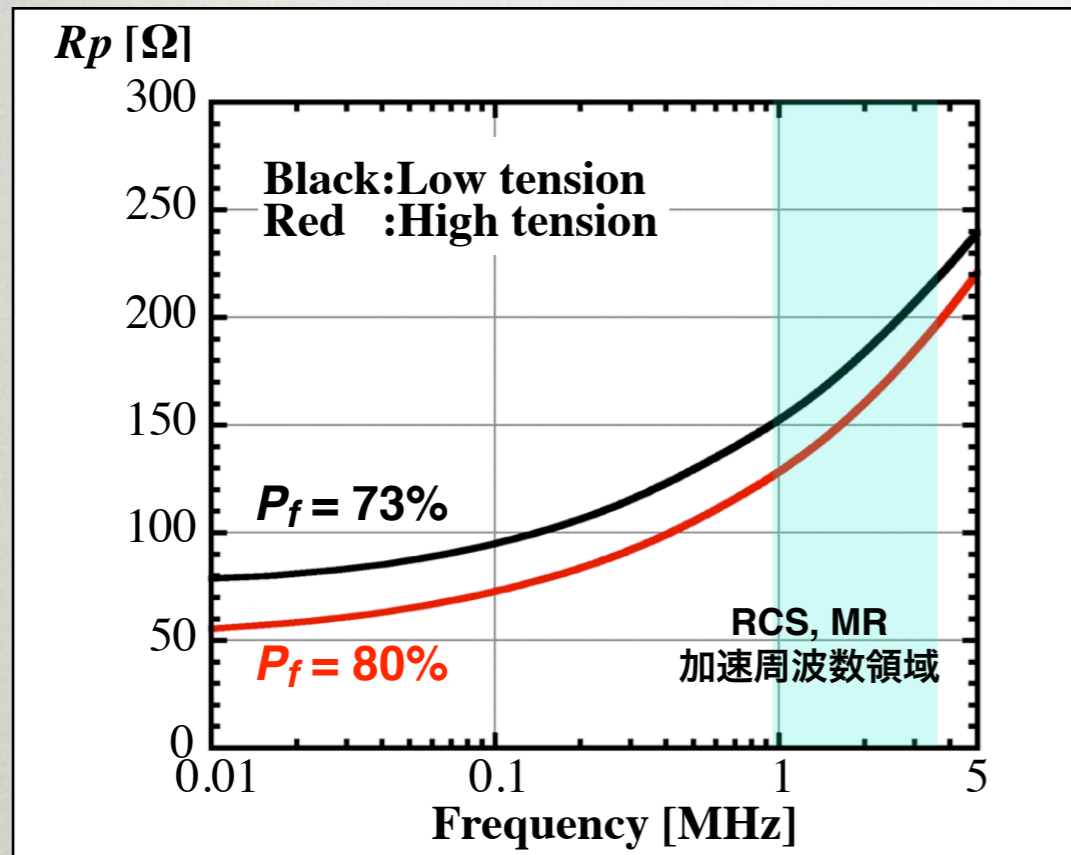
占積率 P_f を高めることにより R_p を高められる。

RCS用コアの開発段階でコアのテンションを変えてコアの製作を行った。

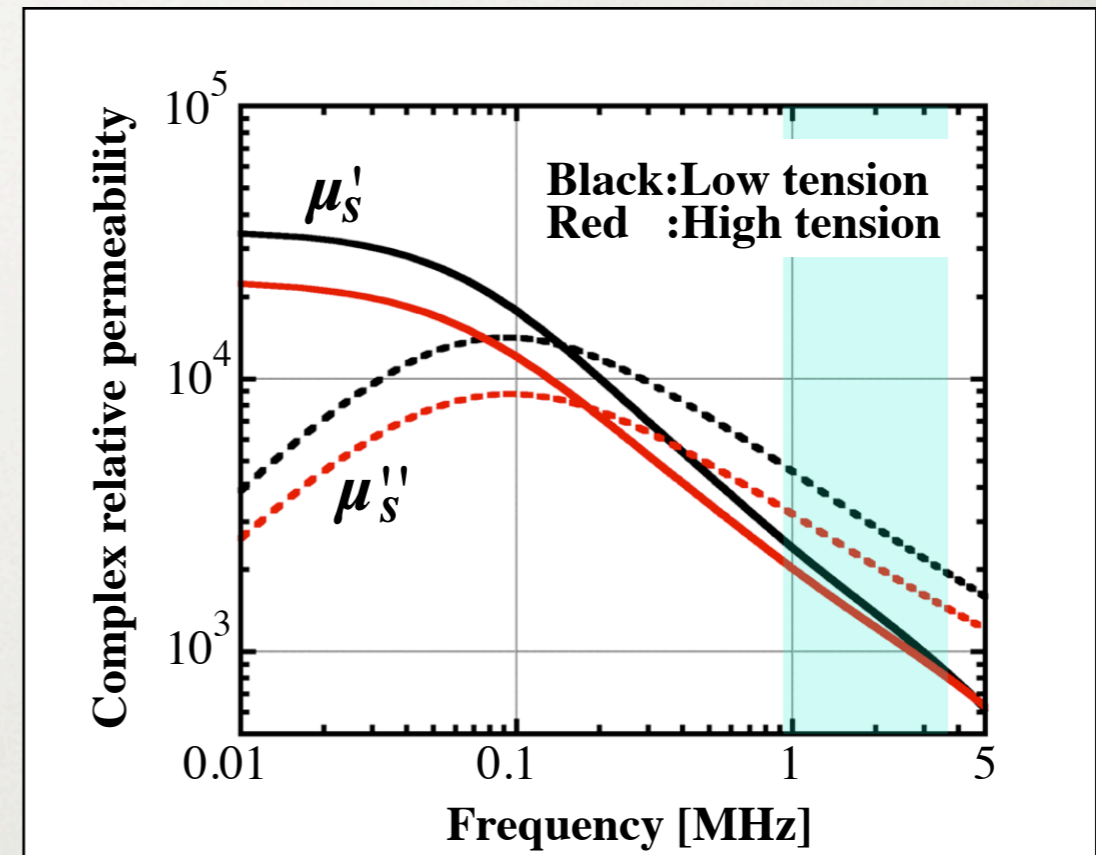
コア巻きテンションを強くして占積率 P_f 高めた場合。



Shunt Impedance R_p



Complex relative permeability μ

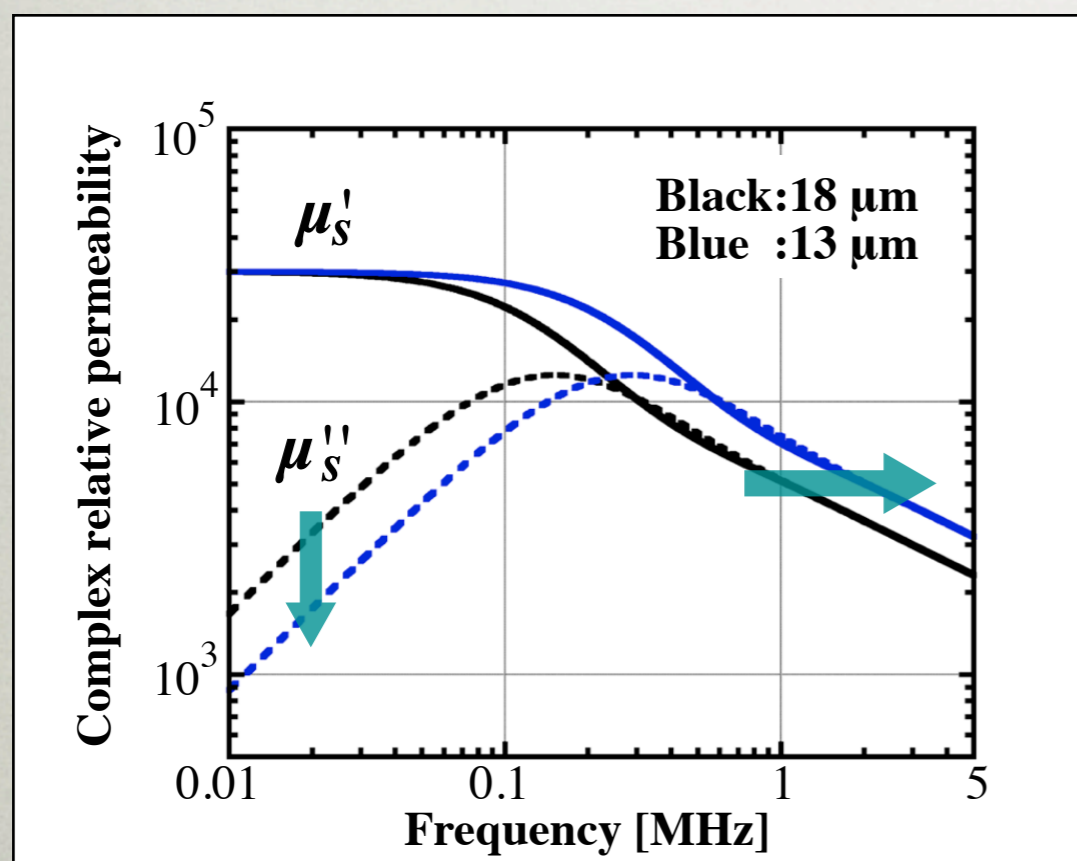


- 占積率は約7%程度高くなったが、逆に R_p は低下した。
- コアの磁気特性が劣化。 μ''_s が影響。
- 原因はテンションを強くしたことによる残留応力によるものと考えられる。

リボン板厚を薄くすることにより、渦電流の影響を小さくする。

18 μm \rightarrow 13 μm

Complex relative permeability μ (計算値)



リボン板厚を薄くすることにより、

低周波数側:

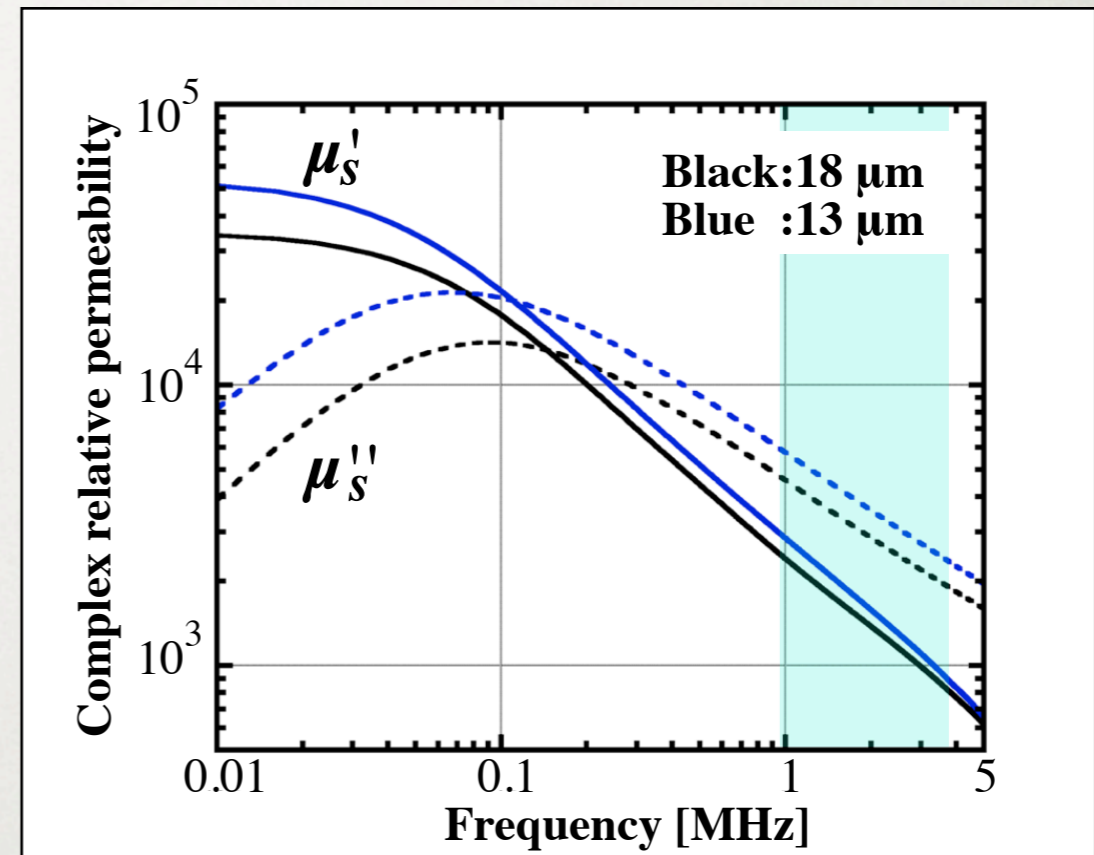
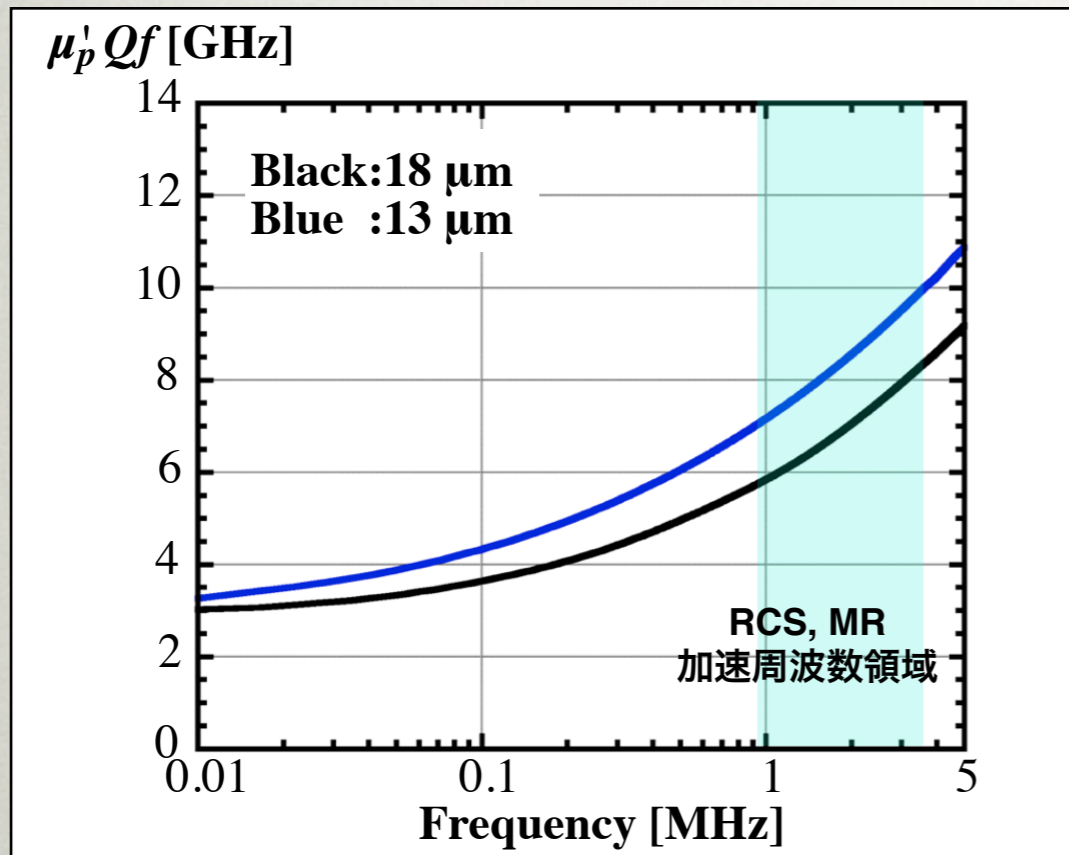
μ''_s が低減し、 R_p は高くなる。

高周波数側:

透磁率が高周波側まで伸び R_p は高くなる。

$\mu'_p Qf$

Complex relative permeability μ



$\mu'_p Qf$ は形状の違いを除いた、シャントインピーダンス R_p に比例する物理量。

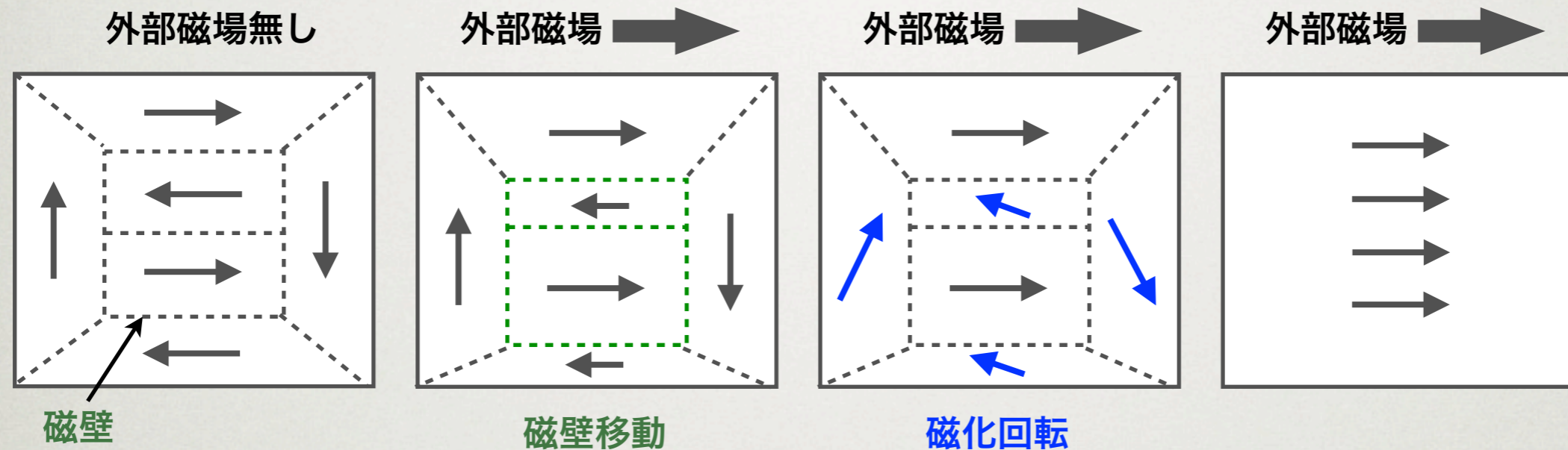
$\mu'_p Qf$ は高くなった。透磁率は高周波側に延びている。

低周波数領域の挙動については現在検討中。残留応力の影響の可能性も考えられる。

R_p を高めるには: 3. 磁化過程 (1)

(10/14)

磁化過程には磁壁移動によるものと磁化回転によるものがある。



高周波領域では、磁壁移動による磁化は磁界の変化に追従できず透磁率は低下。

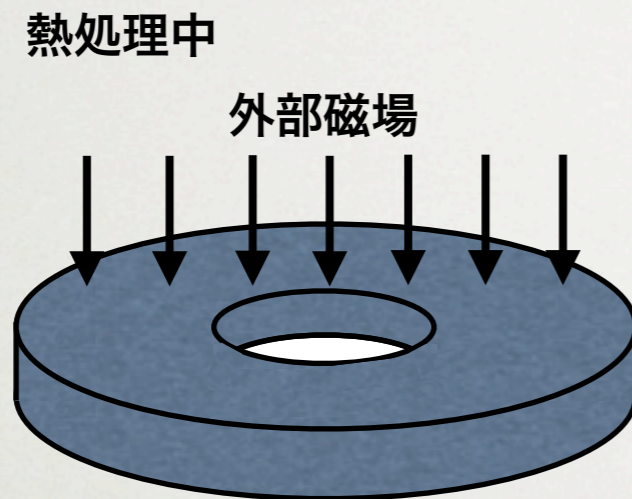
➡ 磁化過程を磁化回転にすることにより、透磁率は高周波側に延びる。

磁化回転では μ_s'' が小さい。

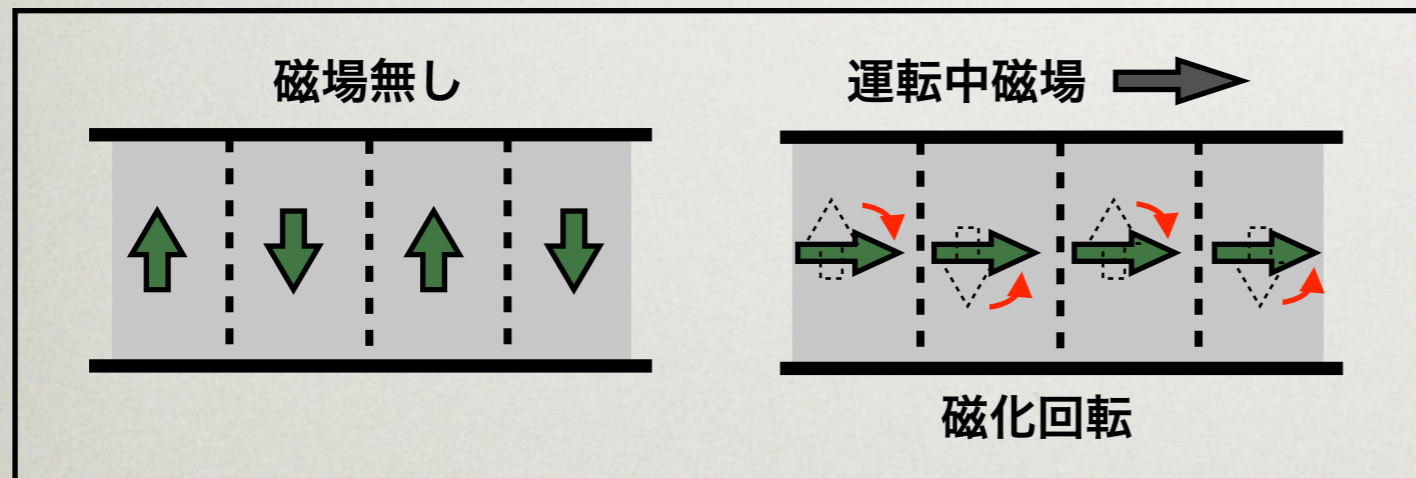
R_p を高めるには: 3. 磁化過程 (2)

(11/14)

熱処理中に磁場をリボン幅方向に印加し、結晶の磁化容易軸をリボン幅方向に。



FT3L:



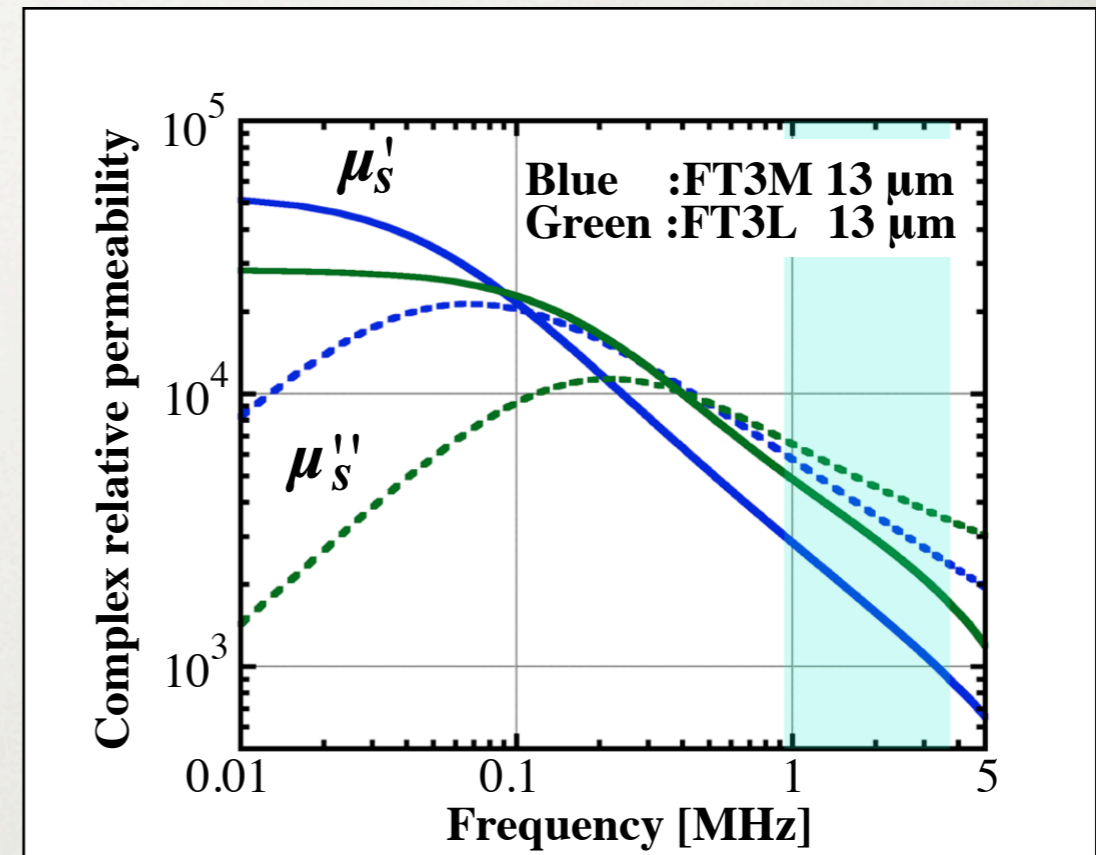
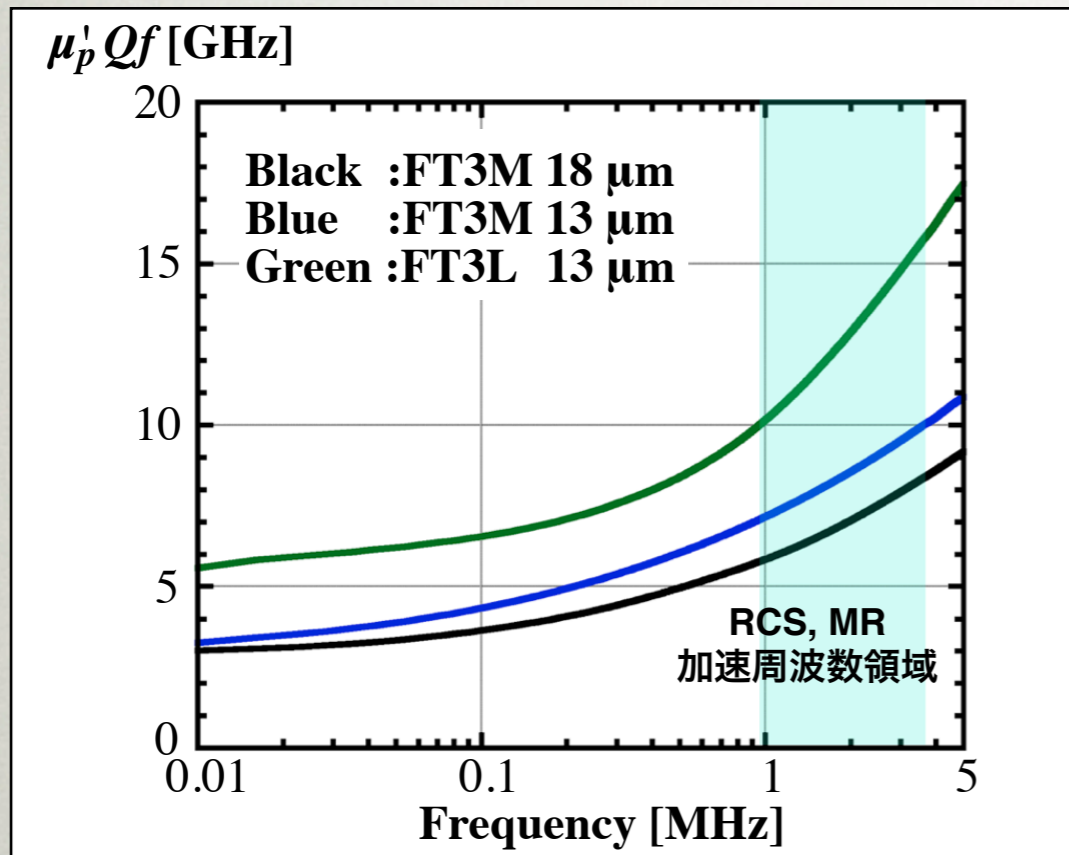
FT3H:リボン長手方向に磁場

FT3M:磁場処理無し



$\mu'_p Qf$

Complex relative permeability μ



高い $\mu'_p Qf$ を達成。低周波側では μ''_s 低いことが、高周波側では μ'_s が高い事が主な要因。

FT3Lの比透磁率 μ'_s は低周波側では低く、高周波側まで延びている。

磁化回転の特徴である低い μ''_s を示している。

高いシャントインピーダンス R_p を達成するための以下の方法について、**コアの磁気特性(複素透磁率)の観点から考察した。**

1. コア巻きテンションを強くし占積率を高める方法

- R_p が低下、原因はコアの磁気特性の劣化。

2. リボン板厚を薄くする方法

- 透磁率が高周波側に延びることにより、 $\mu'_p Qf$ は高くなった。
- 低周波数領域の挙動については要検討。

3. 磁化過程を主に磁化回転にする方法

- 高い $\mu'_p Qf$ を達成。
- 低周波側では μ''_s 低く、透磁率が高周波側に延びた事が主な要因。

残留応力の磁気特性に与える影響は大きい。

- 薄いリボン板厚の低い周波数領域での挙動。
- コアの形状での R_p の違い。
- 今後も検討が必要。

高いシャントインピーダンス R_p 。

- 運転周波数領域で高い透磁率 (μ'_s, μ''_s) を得る。

シャントインピーダンス R_p の挙動を磁気特性から考察を行った。

現象をより理解する事ができ、コア開発にも有効である事が分かった。