

研究背景

我々の研究のキーワード ⇒ Panoscopic Assembling

原子・ナノレベルで構造制御した材料創製

母材 ⇒ 処理 ⇒ 高次機能の発現

理論と実験値の一致

磁気損失の周波数特性

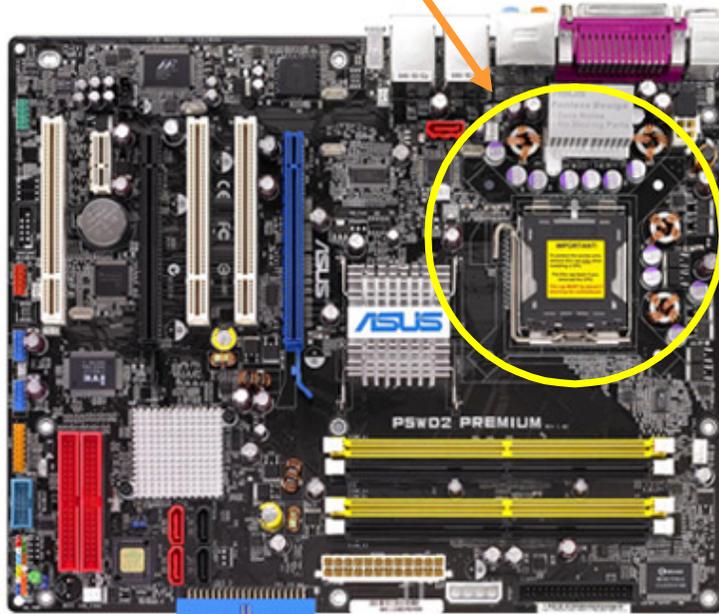
磁気特性の劣化が起こるコア径(限界コア径)

限界コア径の温度による変化と磁気特性の関係

研究背景

研究対象 → 電源回路で用いられるチョークコイル
(小電力用透磁率制御軟磁性材料)

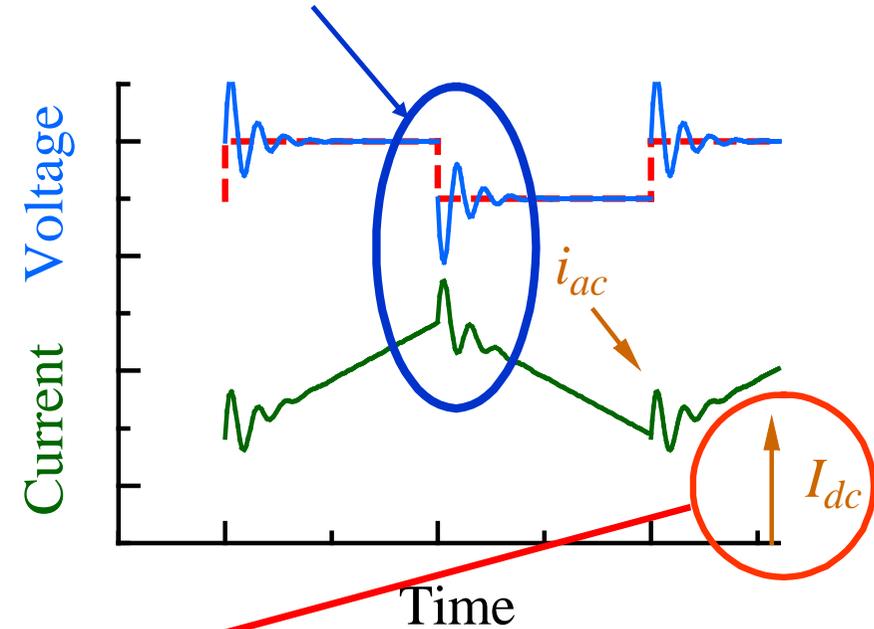
CPU駆動用DC-DCコンバータ



ASUSTeKのホームページより

直流重畳下で動作 ⇒ 数百程度に透磁率を制御

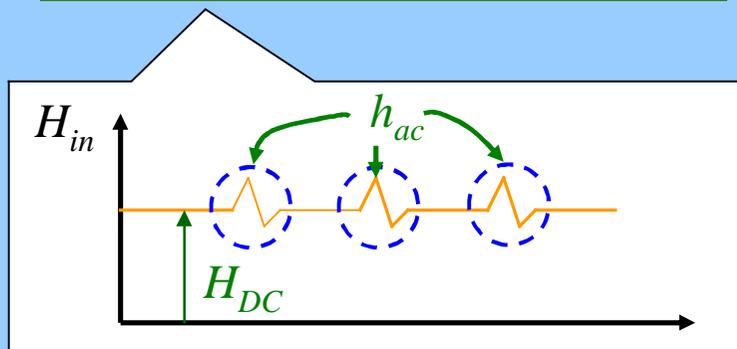
高調波サージ



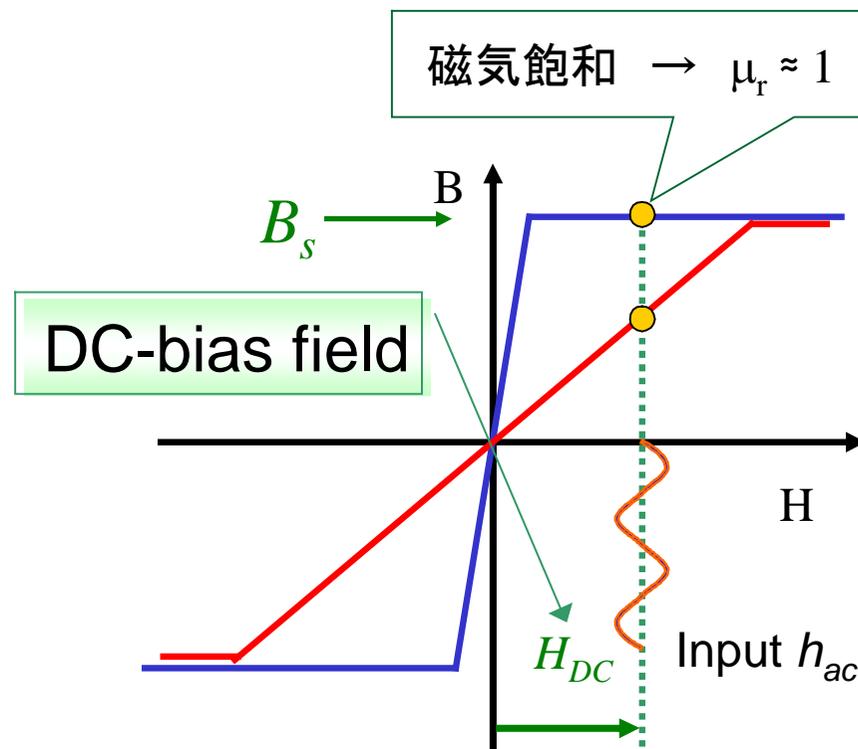
研究背景

チョークコイル内の磁界

$$H_{in} = H_{DC} + h_{ac}$$



* h_{ac} : ノイズ成分



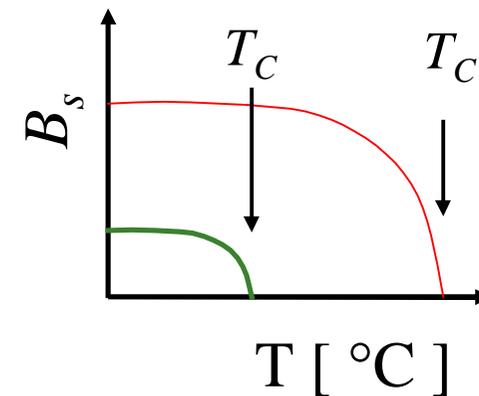
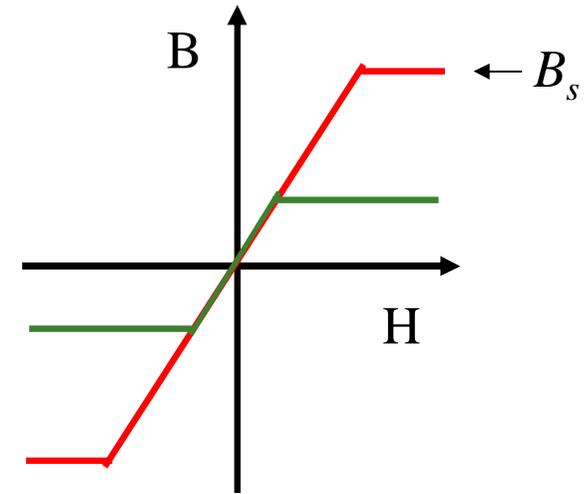
$\mu_r = 100 - 500^*$ が適当

*J. K. Watson, *Applications of Magnetism*, New York: John Wiley & Sons, (1980) 241. 3

研究背景

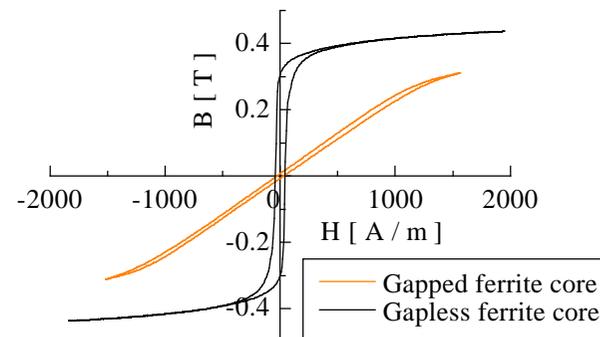
透磁率制御コア材料に所望される特性

1. 高 B_s (小型化)
2. 高キュリー温度 T_c (広い動作温度帯域)
3. 高電気抵抗率 (うず電流の抑制)
4. 低磁気損失 (効率改善)
5. 良好な透磁率の制御性
6. 簡素な作製過程
7. 良好なループの線形性 (回路設計に有利)



研究背景

ギャップ付きフェライト



小型・大電流化

移行

Ex. ノートパソコン
0~数十A

圧粉磁心

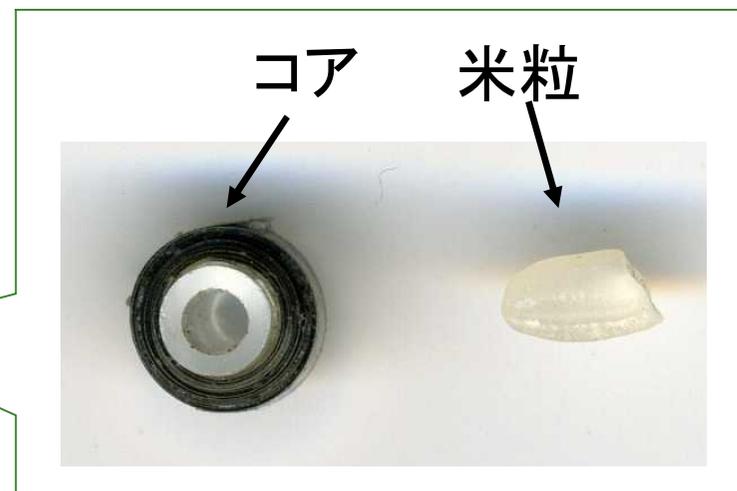
Amorphous powder
Sendust powder
Fe element (Mechanical alloying)

小型・大電流
高周波化

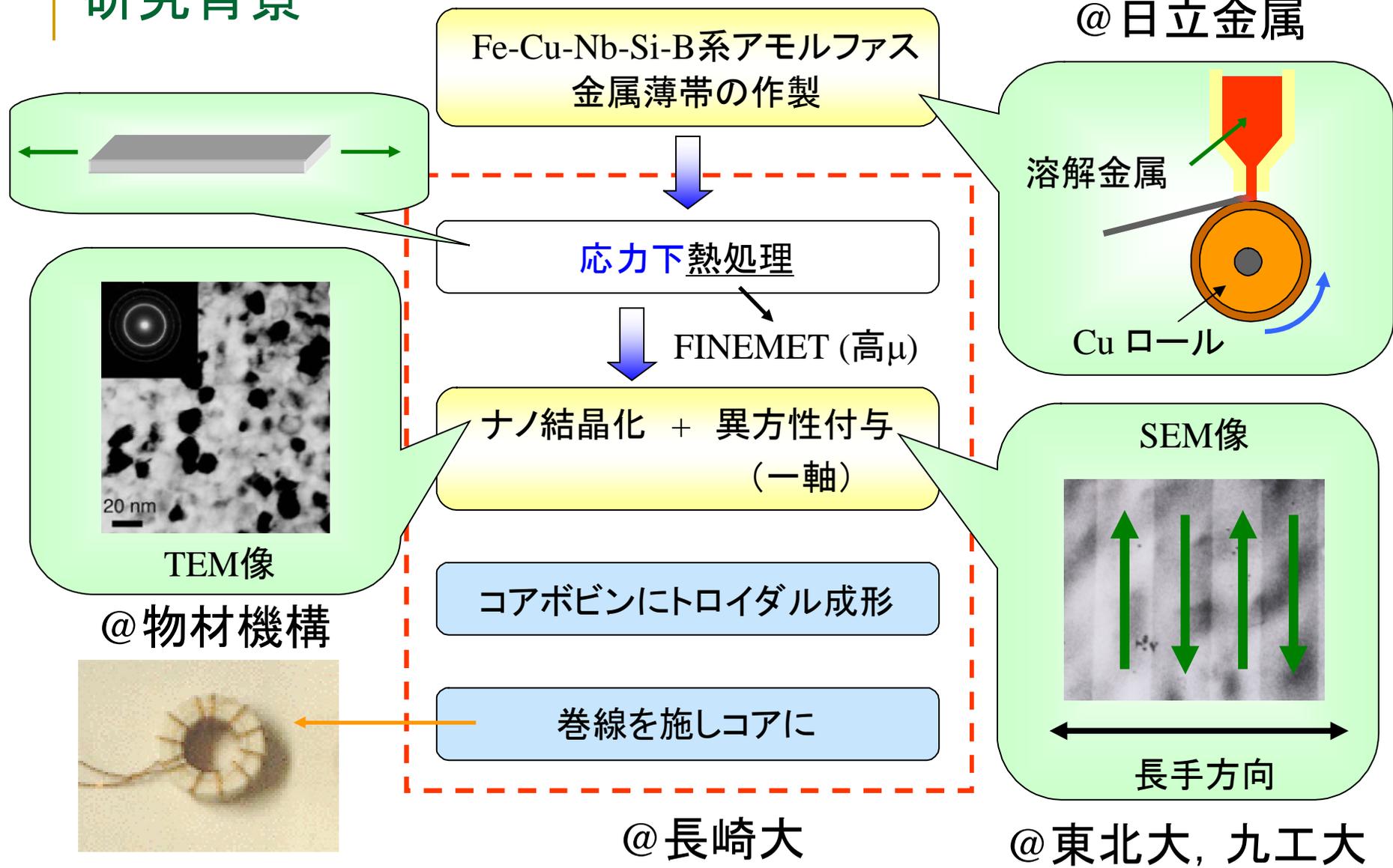
次世代??

我々の提案してきたコア

磁気特性@室温



研究背景



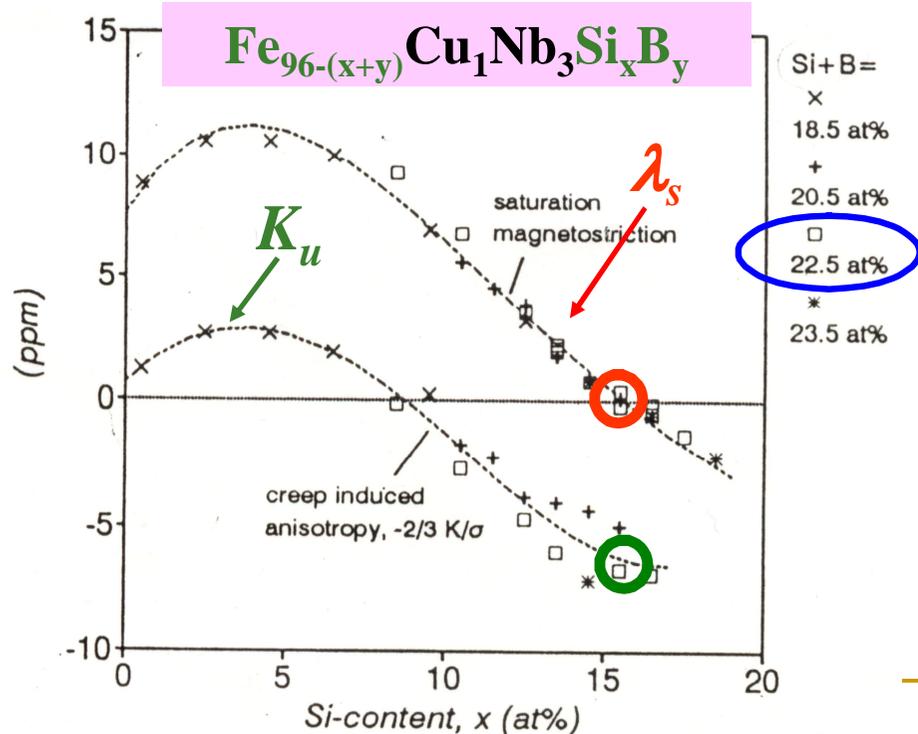
試料

Amorphous ribbon (Hitachi Metals Ltd.)

Composition : $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7$

Dimension

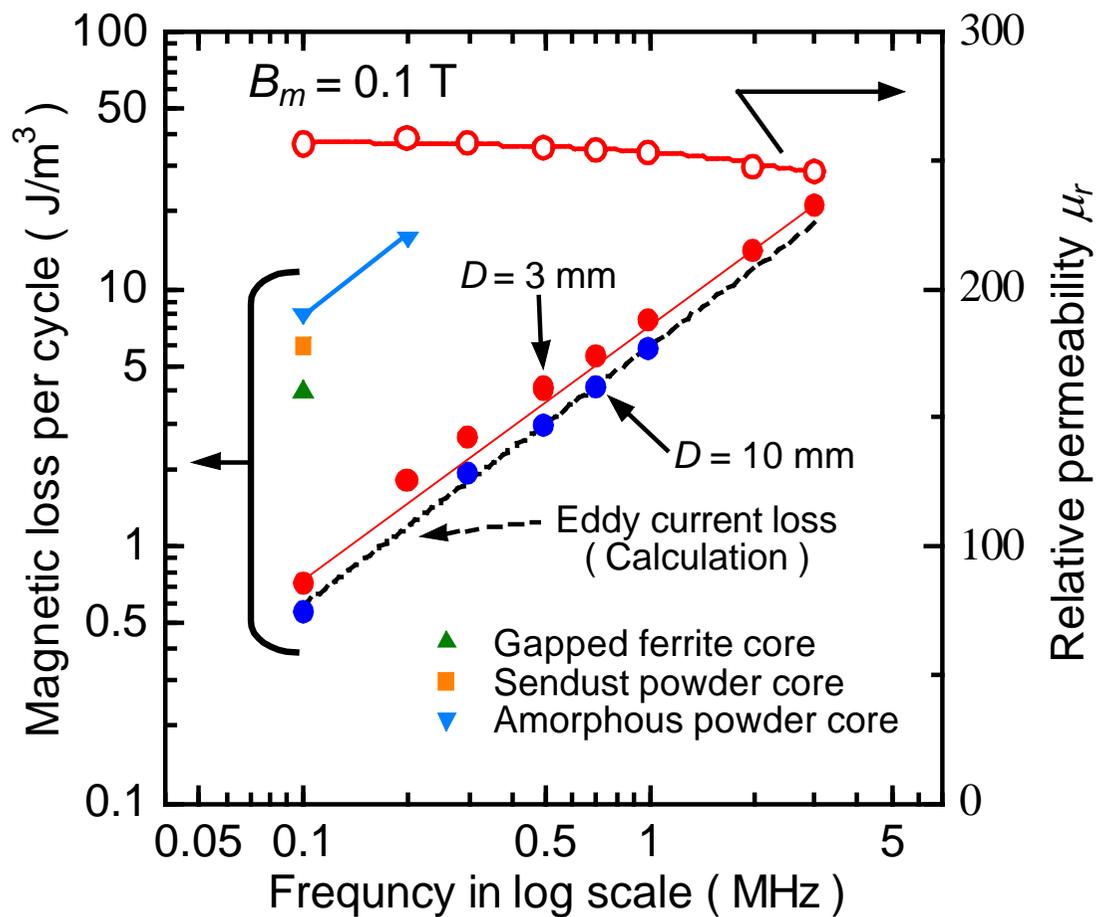
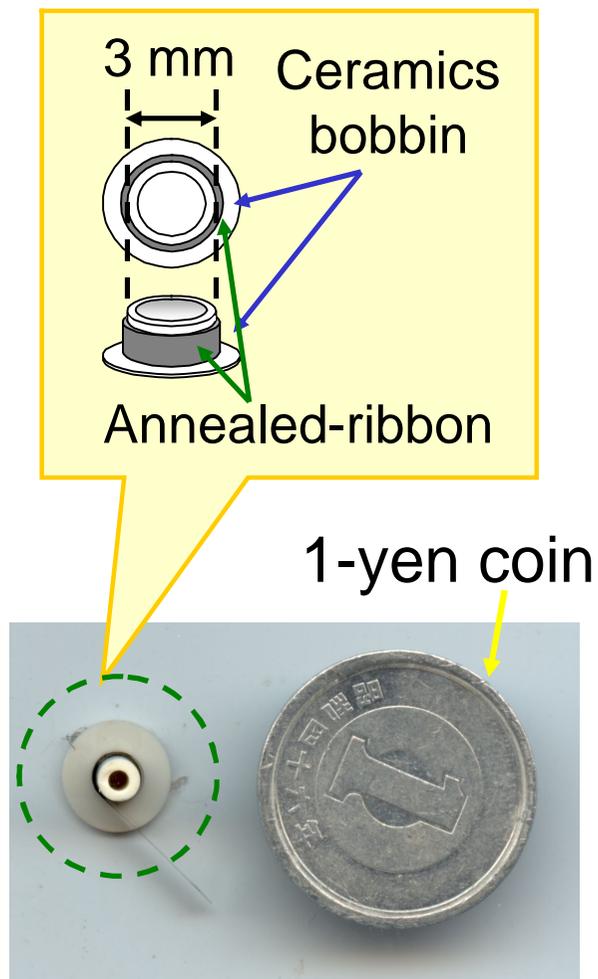
20 μm
2 mm



熱処理後の試料:
1 ppm以下の小さな磁気ひずみ

*G. Herzer, *IEEE Trans. Magn.*, **30** (1994) 4800.

実験結果 (理論と実験値の一致 1)



うず電流損失の計算値と実測値が一致

実験結果

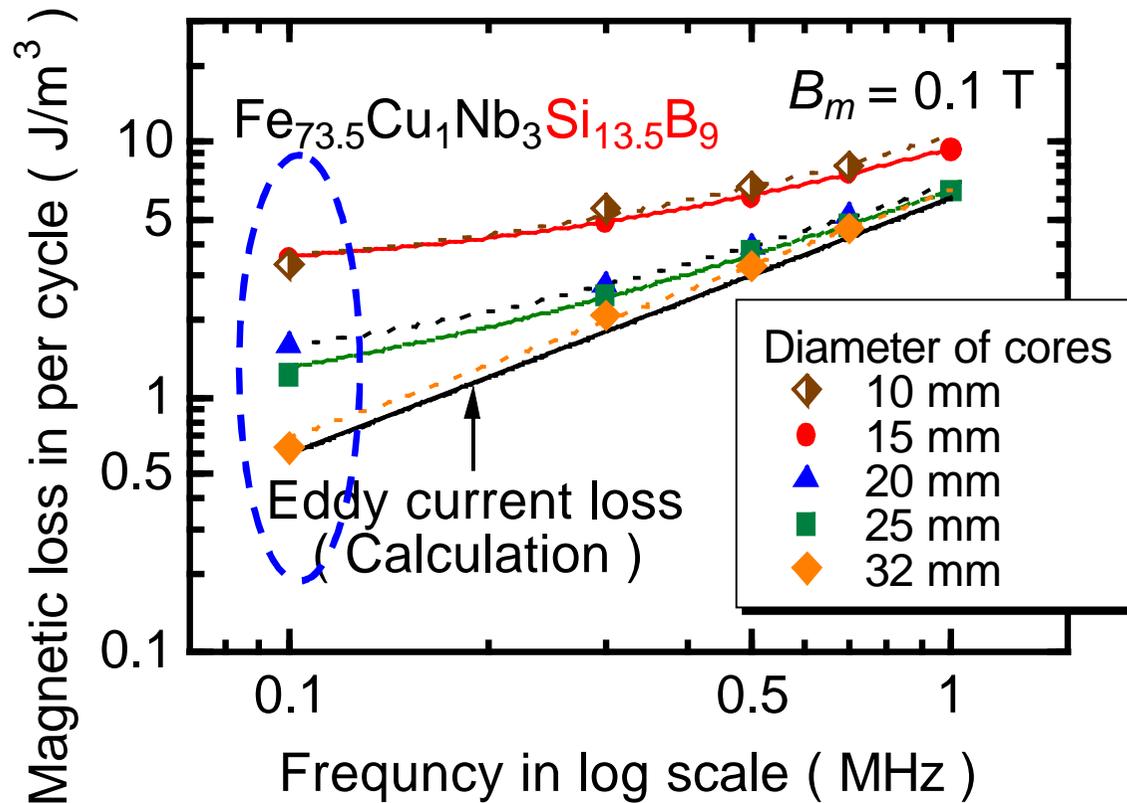
理論と実験値の一致

磁気損失の周波数特性

磁気特性の劣化が起こるコア径

そのコア径の温度による変化と磁気特性の関係

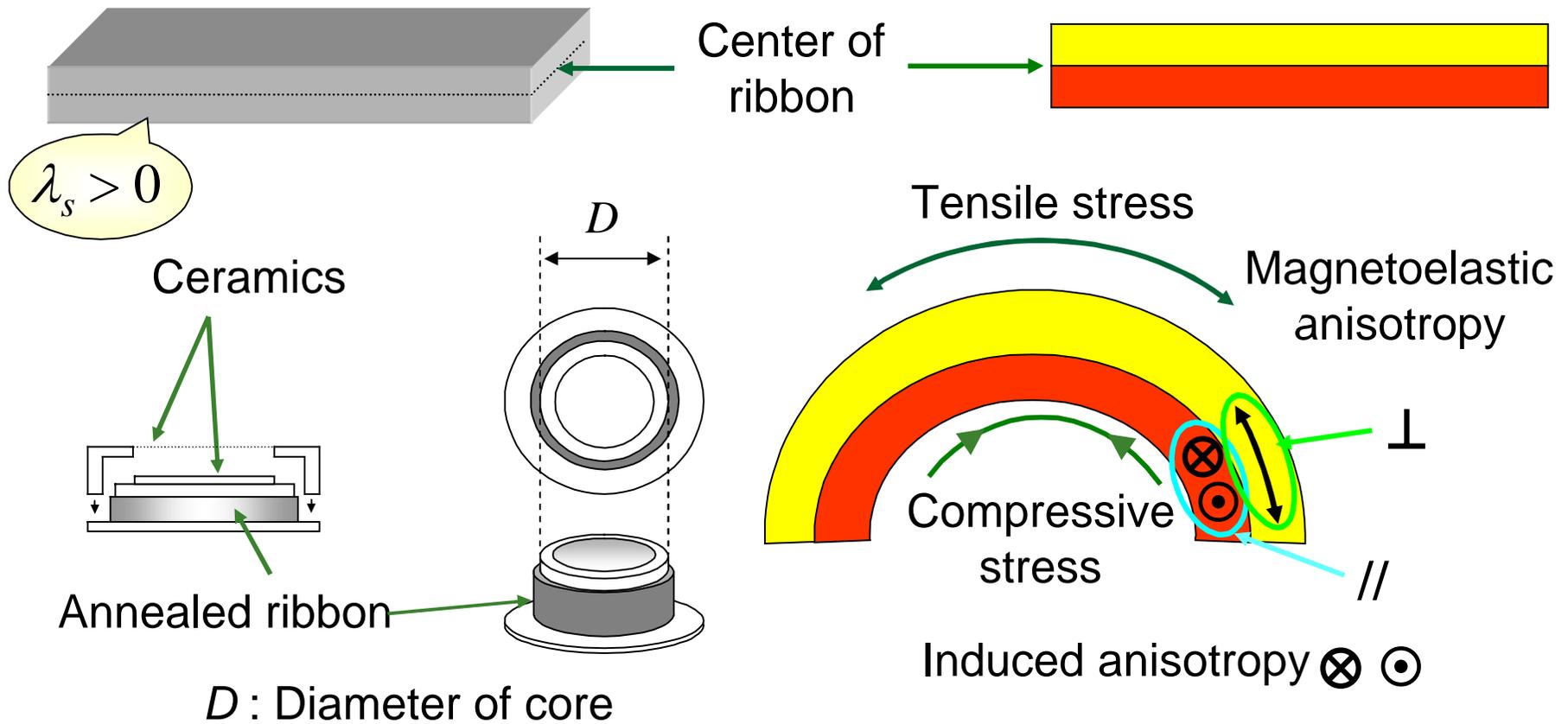
実験結果 (トロイダルコアの作製と限界コア径 D_c)



コア径の減少に伴い, 損失は増加

機械的応力の増加 ⇒ 良好な磁気特性を維持できない

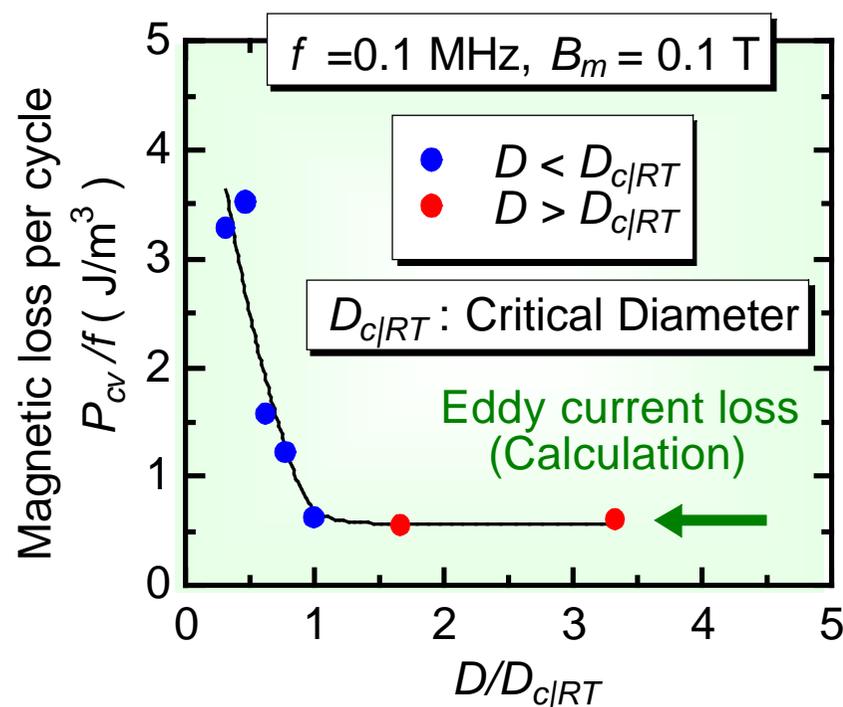
トロイダルコアの作製と限界コア径 D_c



曲げ応力が磁気ひずみを介して新たな異方性を誘起

限界コア径 D_c （理論と実験値の一致 2）

付与した異方性のエネルギー < 磁気弾性エネルギー



$$K_u \leq \frac{3}{2} |\lambda_s| \sigma_m = \frac{3 |\lambda_s| Y d}{2 D}$$

等号成立時の $D \Rightarrow$ 限界コア径

$$D_c = \frac{3 |\lambda_s| Y d}{2 K_u}$$

λ_s, Y, K_u は温度により変化

|RTの添字で表記

$$D_{c|RT} = \frac{3 |\lambda_{s|RT}| Y_{|RT} d}{2 K_{u|RT}}$$

K_u : 異方性エネルギー, λ_s : 磁気ひずみ, Y : ヤング率, D : コア径, d : 試料の厚さ

実験結果

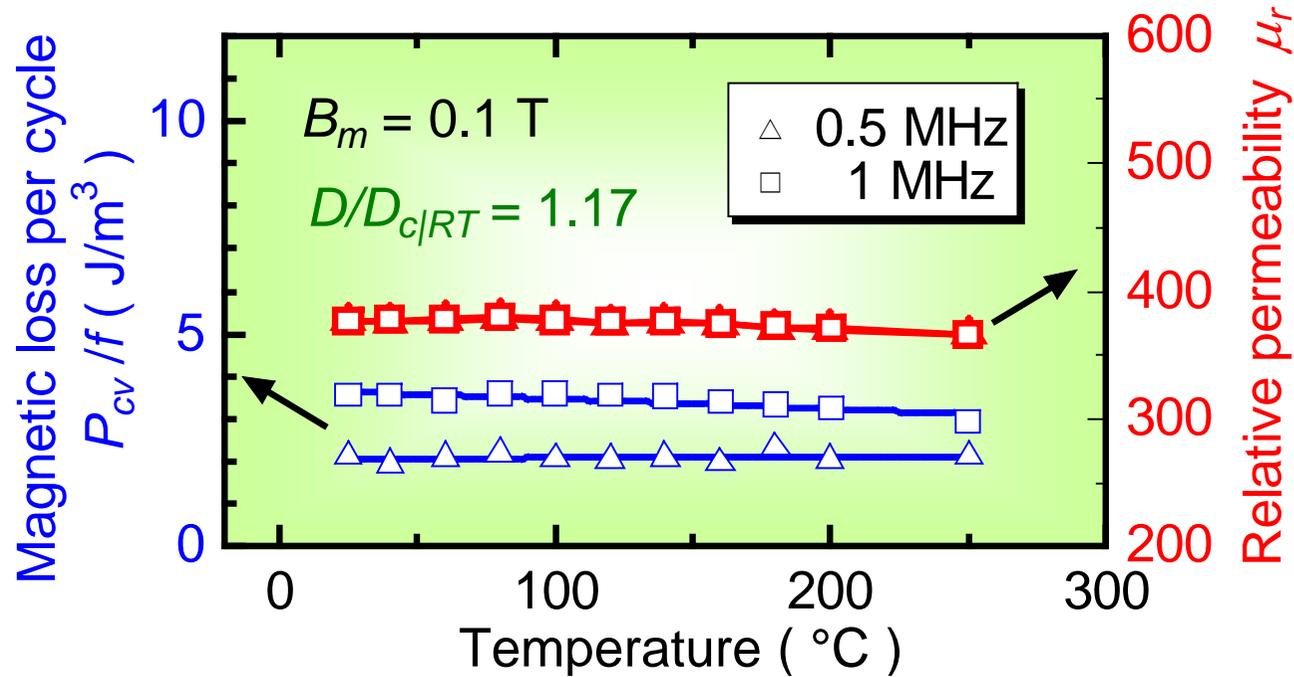
理論と実験値の一致

磁気損失の周波数特性

磁気特性の劣化が起こるコア径

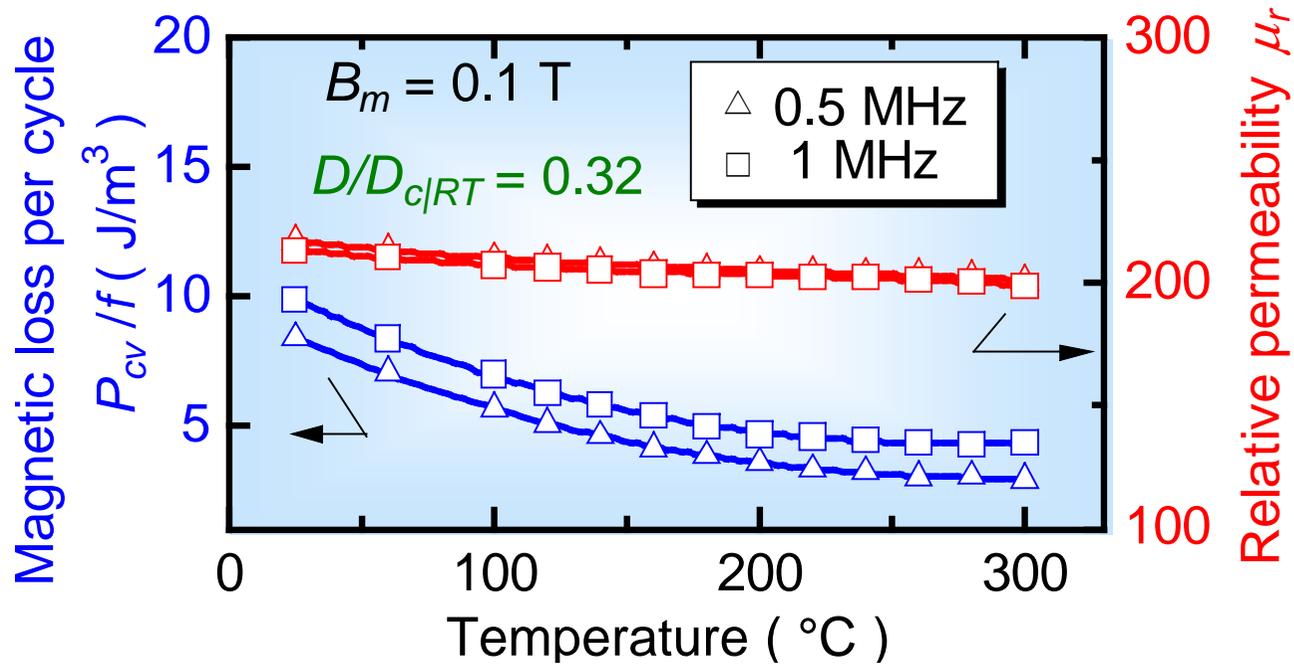
そのコア径の温度による変化と磁気特性の関係

$D/D_{C/RT} > 1$ のコアの高温特性



透磁率 } 250 $^{\circ}C$ まで一定 → 磁気特性の劣化なし
磁気損失 }

$D/D_{C/RT} < 1$ のコアの高温特性



透磁率: 300 $^{\circ}\text{C}$ までほぼ一定

磁気損失: 温度の増加に伴い減少

磁気特性の劣化なし

考察(透磁率に関して)

透磁率：温度の影響をほぼ受けない

一軸異方性を有する磁性体の困難軸方向の透磁率

$$\mu_r \approx \frac{I_s^2}{2K_u}$$

一般に

I_s と K_u は温度により変化

実験結果

μ_r は温度に依存しない



高温下で $K_u \propto I_s^2$ が成立？

高温下で $K_u \propto I_s^2$ が成立 (Fig.6, 7) \Rightarrow μ_r は温度に依らず一定

考察(損失)

・ $D/D_{c|RT} = 1.17$ のコア

$D > D_{c|RT}$ のコア
温度に依らずほぼ一定

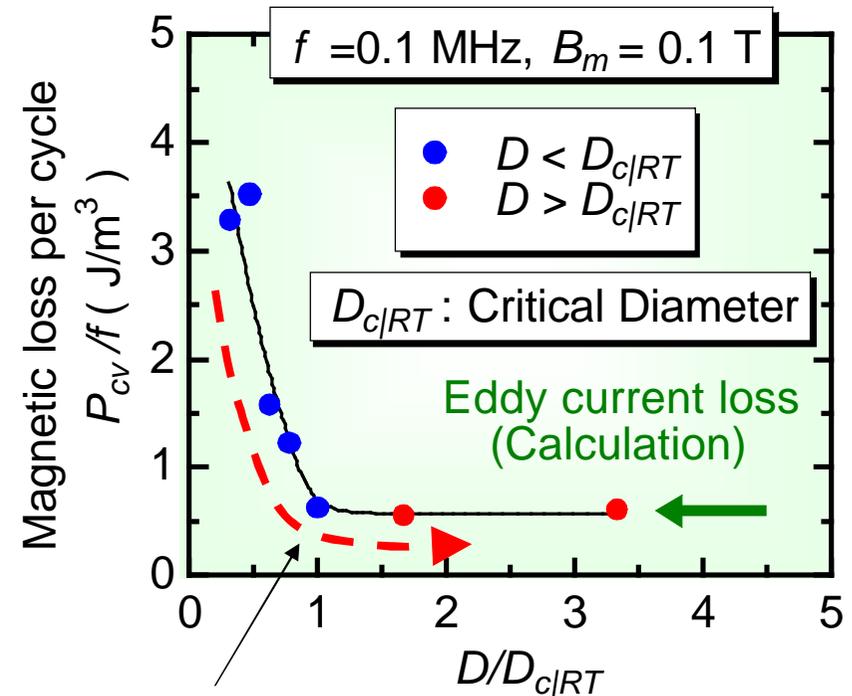
・ $D/D_{c|RT} = 0.32$ のコア

$D < D_{c|RT}$ のコア
温度増加に伴い減少



$D > D_{c|RT}$ のコアの
損失値に近づく傾向

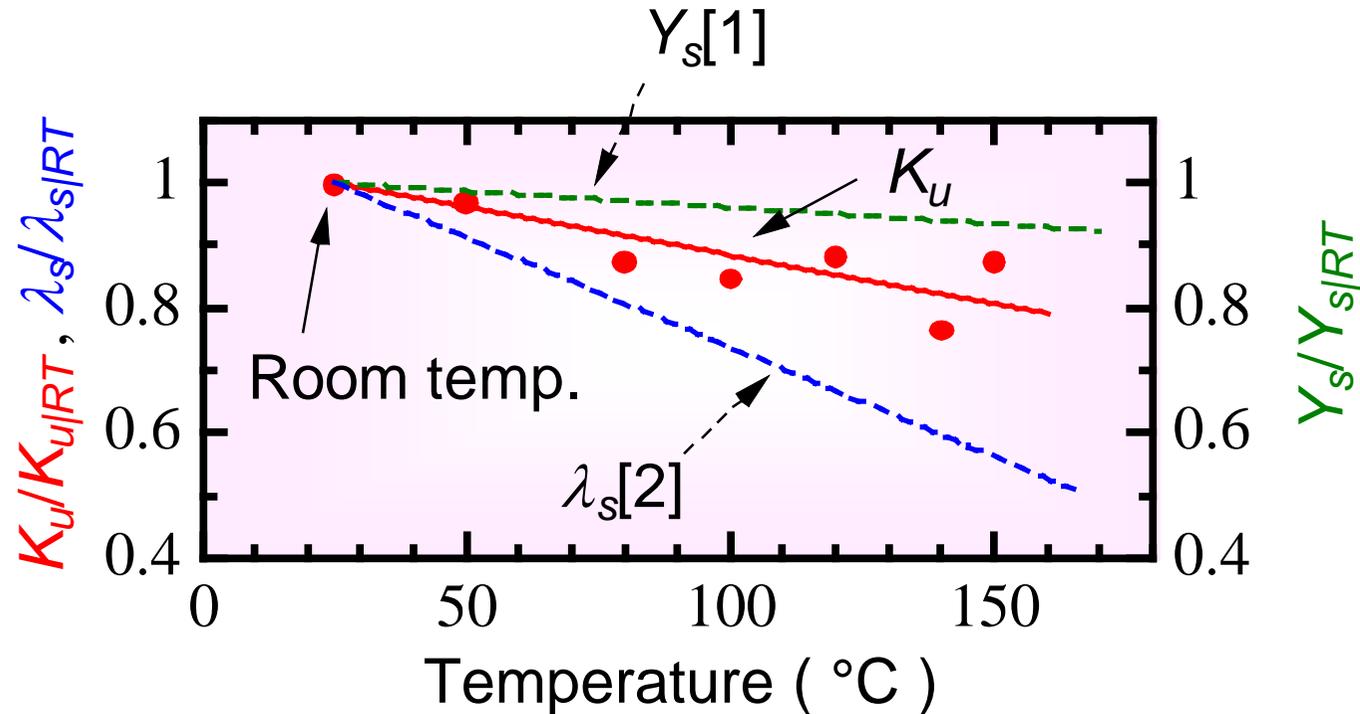
$$D_{c|RT} = \frac{3|\lambda_{S|RT}|Y_{|RT}d}{2K_{u|RT}}$$



高温下で D_c が変化?

温度による D_c の変化

異方性エネルギー，磁気ひずみ，ヤング率*（鉄鋼）の温度特性



$$D_{c|RT} = \frac{3|\lambda_{s|RT}|Y_{|RT}d}{2K_{u|RT}}$$

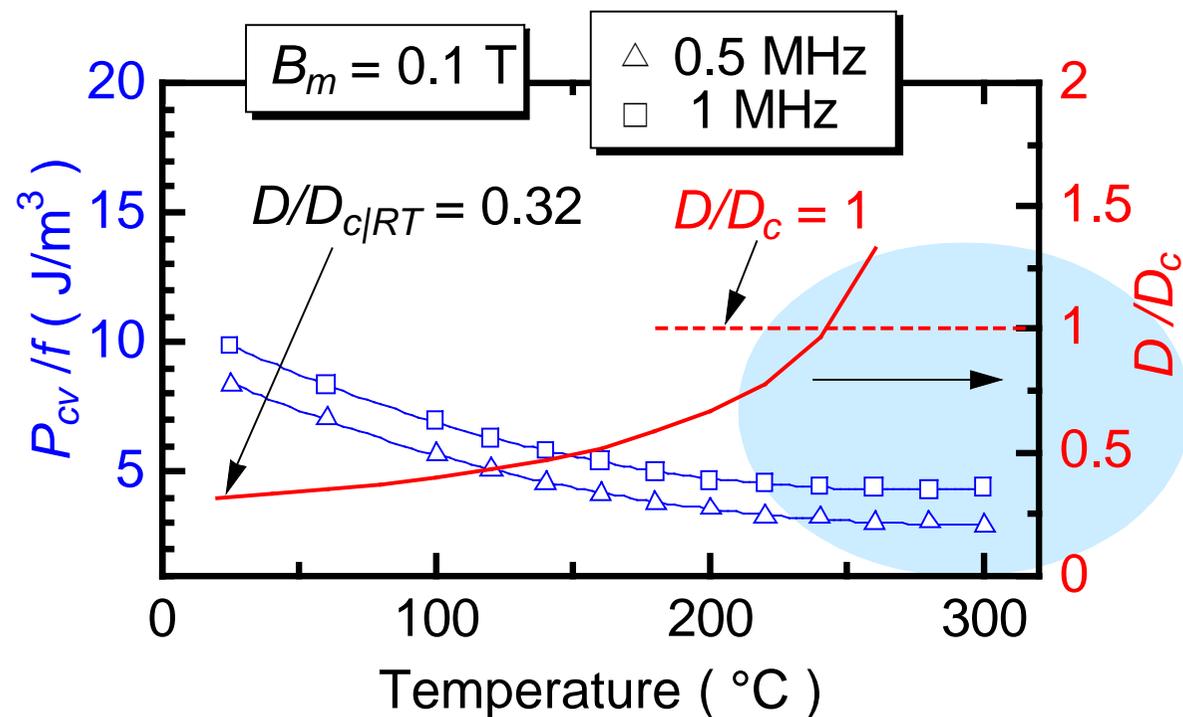
K_u の減少率よりも λ_s と Y の積の減少率大

温度増加により D_c が減少 ⇒ Fig.9

[1] 日本機械学会, 金属材料の弾性係数, 明善印刷, (1980) 19.

[2] K. Twarowski et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, **150** (1995) 85.

D_c の変化と磁気損失の関係(理論と実験値の一致 3)



D と D_c の大小関係が反転 \Rightarrow 損失の減少が飽和

温度増加により D/D_c が増加(D_c が減少) \Rightarrow 損失減少

まとめ

理論と実験値の一致に関して

磁気損失の周波数特性

磁気特性の劣化が起こるコア径(限界コア径)

限界コア径の温度による変化と磁気特性の関係

$D > D_{c/RT}$, $D < D_{c/RT}$ のコア共に

→ 250 °Cまで磁気特性の劣化なし

温度増加により限界コア径が減少することを確認

各物理定数の温度依存性から、その温度依存性を
予測したところ、実験結果とよく一致