第48回 日本磁気学会(MSJ)学術講演会
2024.09.26（26aD-7）

歯科用磁性アタッチメント向け ステンレス鋼磁石の開発

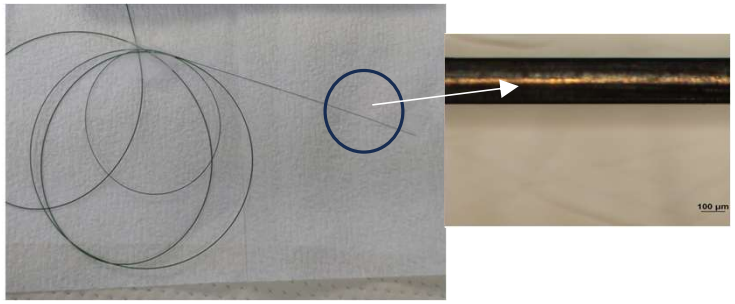
○三嶋 千里※，水野 貴仁，N.N.Adline，菊池 永喜，本蔵 義信
（※三嶋研究所、マグネデザイン株式会社）

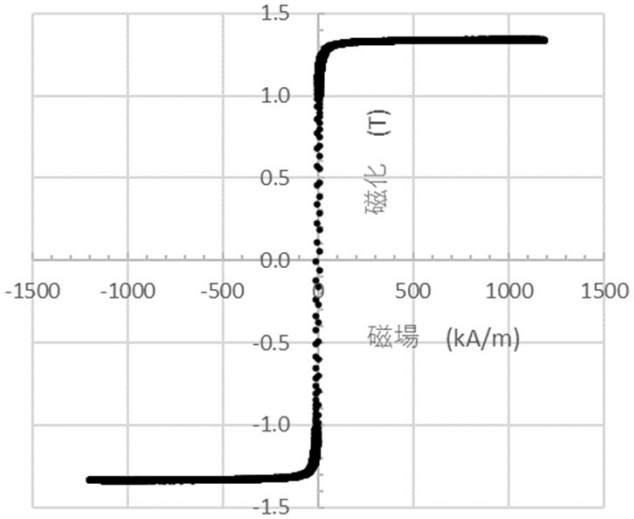
目次

１．ステンレス鋼磁石の着想
２．実験方法
３．実験結果
・加工誘起によるマルテンサイト(Ms)量と加工率の関係（既存実験の確認）
・加工率の影響(SUS316)
・張力熱処理温度の影響
・張力荷重の影響
・張力熱処理による組織の変化
４．考察　本研究とｶﾞｲﾄﾞﾜｲﾔｰとの比較
５．ステンレス鋼磁石の応用例
６．まとめと今後の進め方

1．ステンレス鋼磁石の着想

(1)医療用ｶﾞｲﾄﾞﾜｲﾔｰ(SUS304 引抜細線) 先端部の磁石特性結果(Φ0.15㎜)





(2)代表的なマルテンサイト型磁石鋼の磁石特性

参考文献：岩間、日本金属学会報 vol.4,(1965) 16.
最初の近代磁石であるKS鋼（本多光太郎先生）との比較

磁石種類	組成	磁石特性		
		Br (kG)	bHc (Oe)	$(BH)_{max}$ MGOe
炭素鋼	0.9～1.0C%C	9.0	50	0.20
Cr鋼	0.9%C,3%Cr	9.6	60	0.29
W鋼	0.9%C,6%W	10.5	65	0.3
Cr-Co鋼	1.0%C,4%Cr,2%Co	9.8	83	0.35
K.S.鋼	0.9%C,3%Cr,5%W,35%Co	9.0	250	**0.95**
ガイドﾜｲﾔｰ測定結果	SUS304	11.3	87.1 (iHc)	**0.80**

ステンレス鋼磁石を開発

2．実験方法

1．実験の流れ:(1) **原料** ⇒(2)**スエージング加工** ⇒ (3)張力かけながら熱処理(**張力熱処理**) ⇒(4)**評価**

(1)原料組成

(wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ms温度(℃)
SUS304	0.041	0.493	1.10	0.033	0.003	9.11	18.35	–	**-48.9**
SUS316	0.040	0.490	1.60	0.032	0.025	10.03	16.52	2.04	**-144.2**

Ms(マルテンサイト)変態温度＝502-810(C)-1230(N)-13(Mn)-30(Ni)-12(Cr)-54(Cu)-46(Mo)

(参考文献：ステンレス鋼便覧　ー第3版ー　1995)

(2)スエージング加工

・使用装置：スエージング加工機(図)

Φ4.0→Φ2.5(加工率61%)まで加工

・加工温度：3水準（室温、-97℃、-196℃）

(3)張力熱処理

条件：温度**500～700℃**　×1時間　張力荷重：**0～80kgf**(0～784N)

(4)評価

・磁気特性：VSM

・マルテンサイト(Ms)量＝測定磁化／飽和磁化(1.53T)

・組織観察：光学顕微鏡、SEM、X線回折

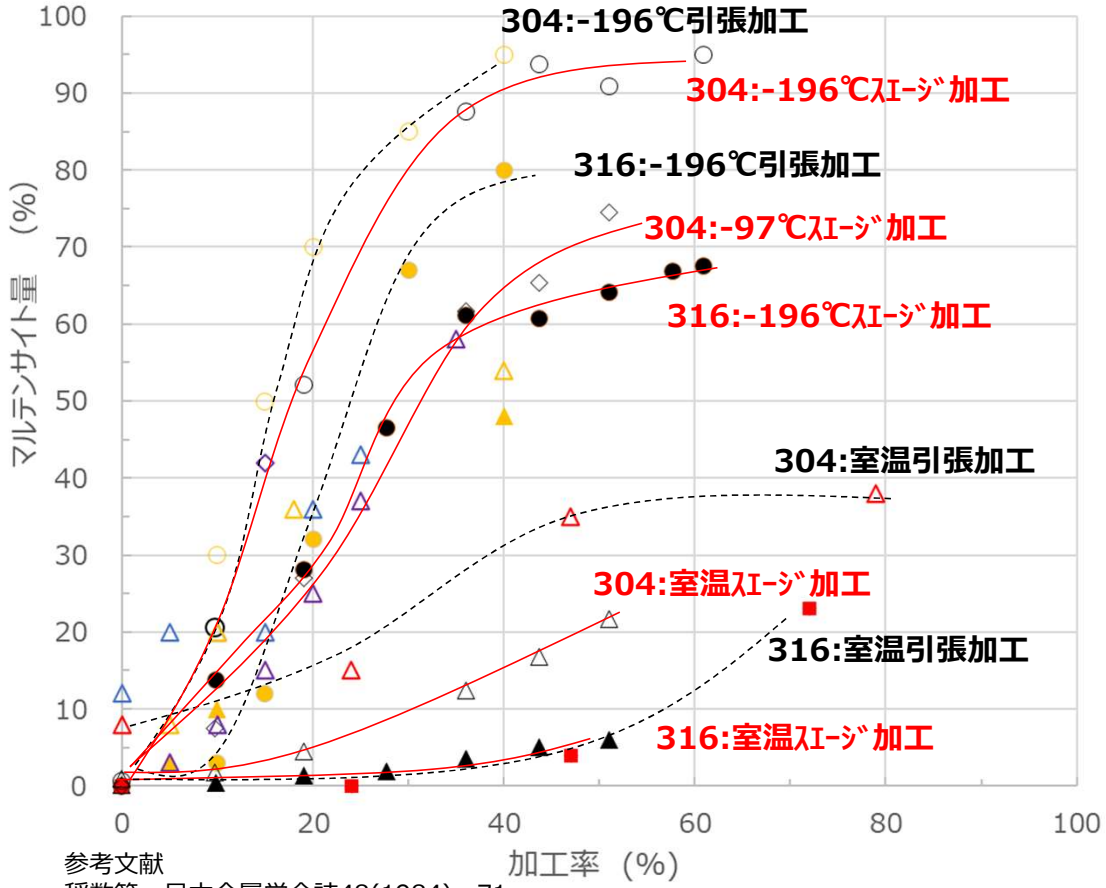
（表面エッチング：シュウ酸10%溶液×90秒）

図 スエージング加工機

（（株）吉田製作所製）

3．実験結果

3.1 マルテンサイト(Ms)量と加工率の関係 (既存研究の確認)



参考文献
稲数等：日本金属学会誌48(1984)p.71.
ステンレス鋼便覧 第3版(1995)p.173.
中曽根：材料,68(2019) p.929.
杉本等：あいち産業科学技術総合センター 研究報告(2016)p.2.
松田：鳥取県産業技術センター研究報告 20(2017)p.47.
緒方等：低温工学 42(2007) p.10.

既存研究と同傾向を確認した
(1)加工率が増加するとMs量が増加
(2)-196℃で加工するとMs量が最大
(3)316の方が304よりMs変態が起こりにくい

↓

医療用のステンレスは316がベース

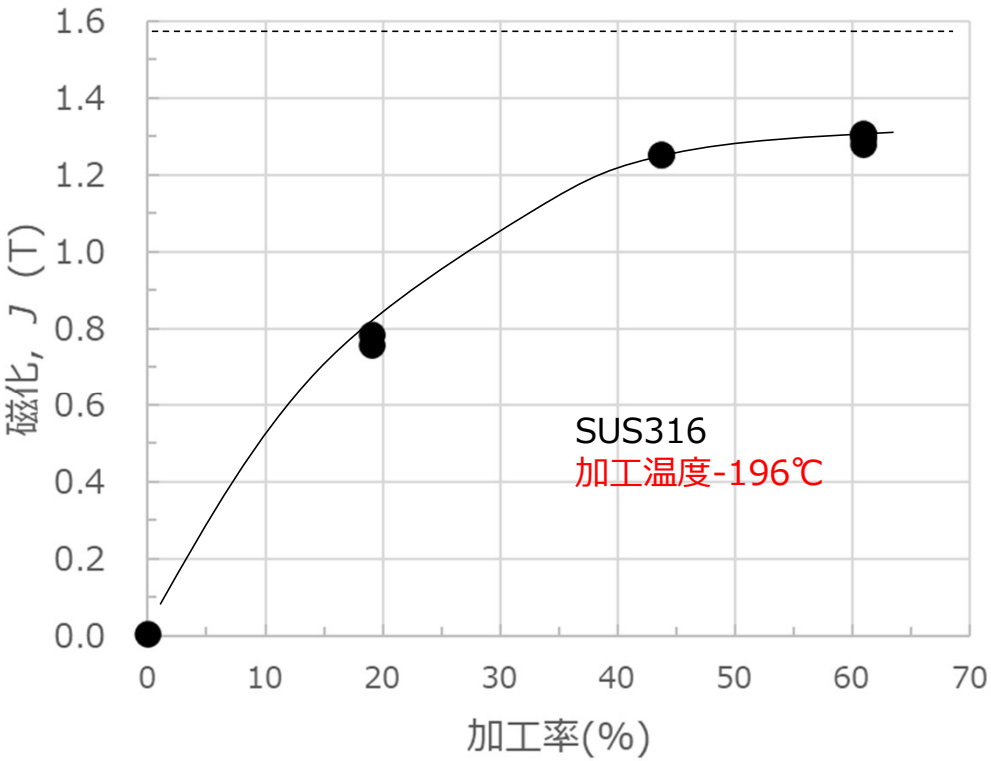
↓

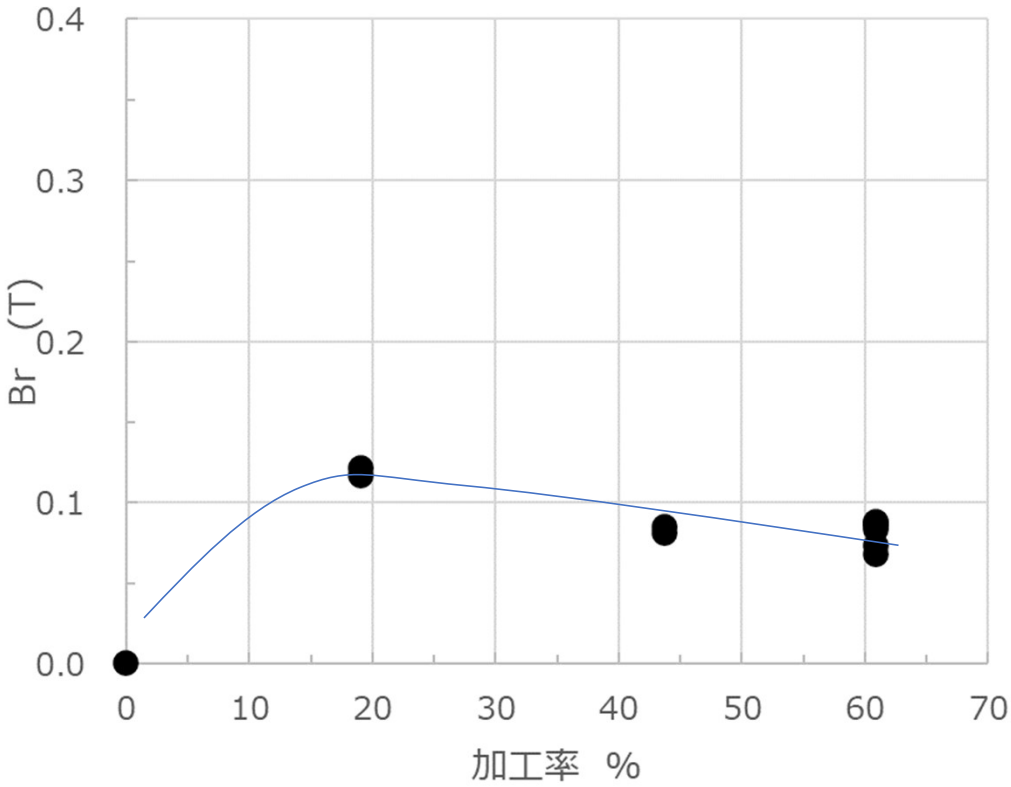
316をベースに-196℃で実験

3.2 加工率の影響(SUS316） －磁気特性変化－

(1)磁化J(H=1193kA/m）とBrの変化

仮想全マルテンサイトステンレス鋼の飽和磁化：1.53T
参考文献：中曽根：材料68(2019)p.929.

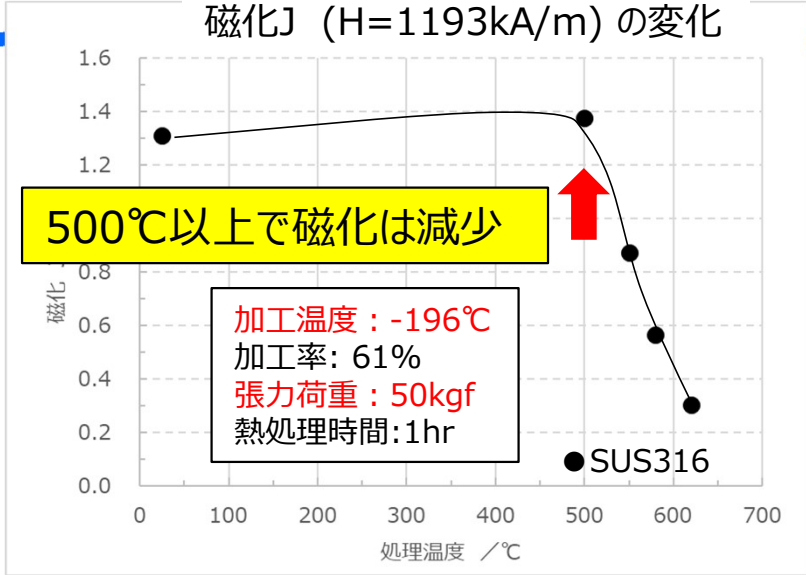


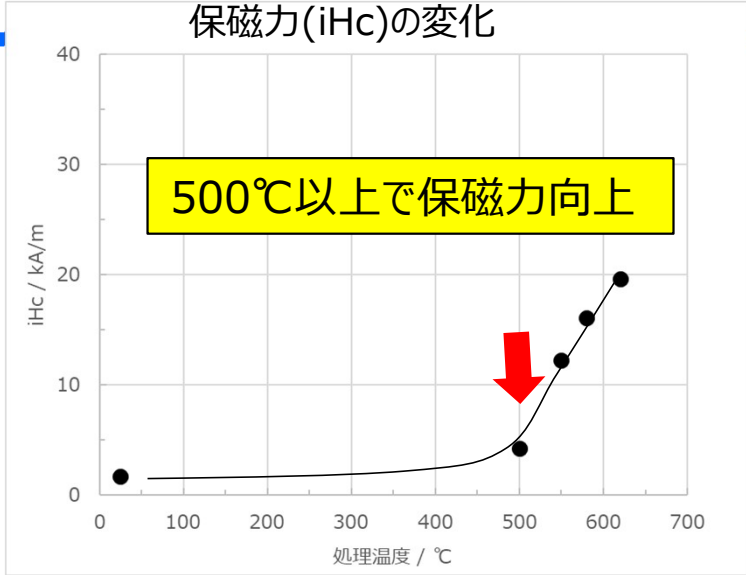


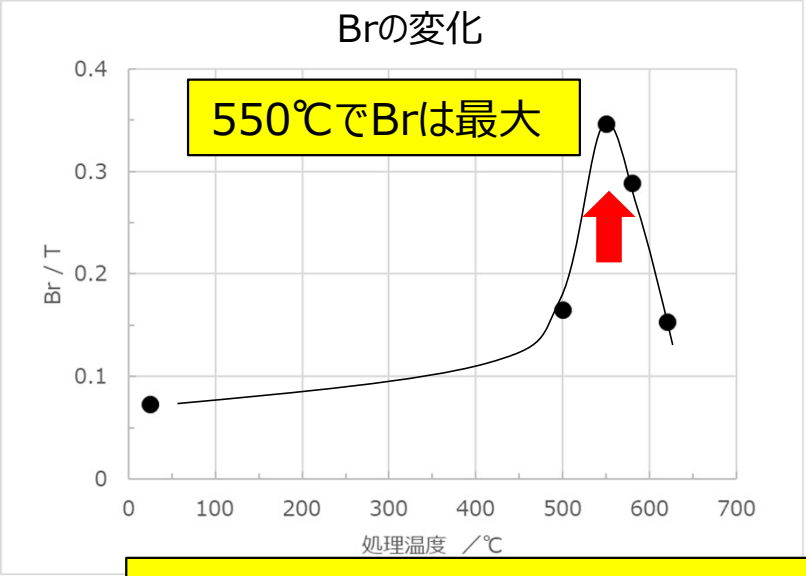
-196℃で加工した場合、加工率が上がることで、磁化(J)は向上

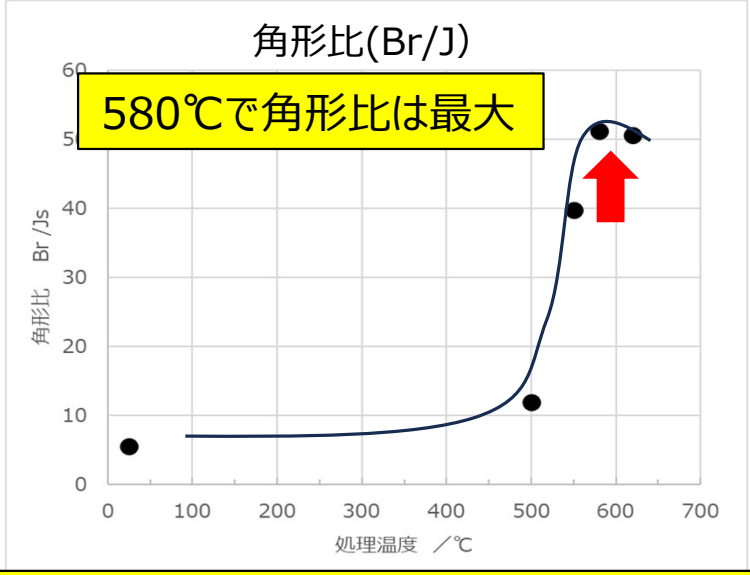
Brは低い(0.1T程度)

3.3 張力熱処理温度の影響(加工率61%試料 張力荷重50kgf)



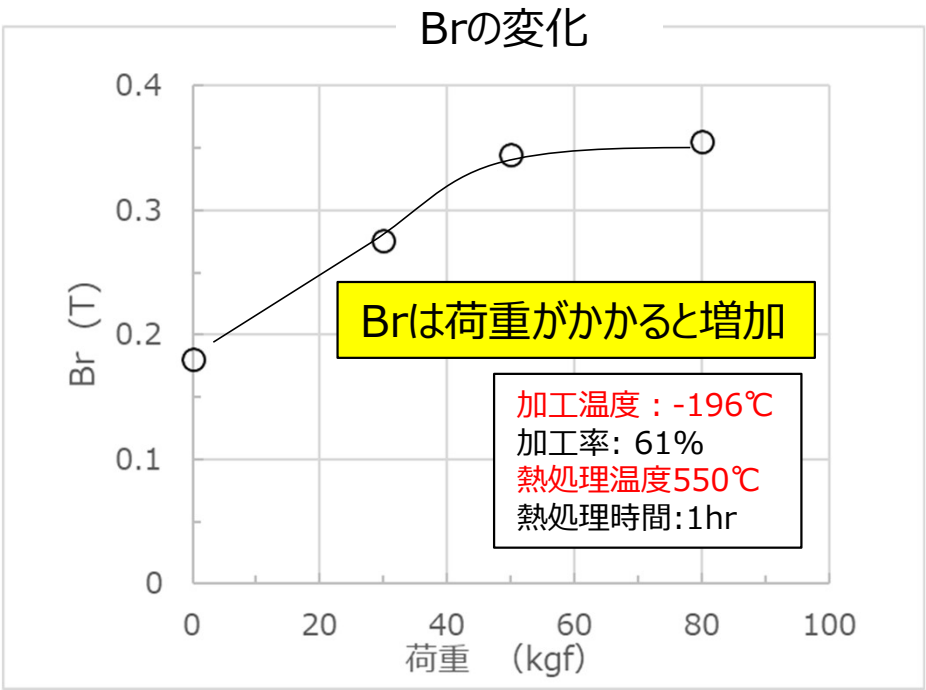


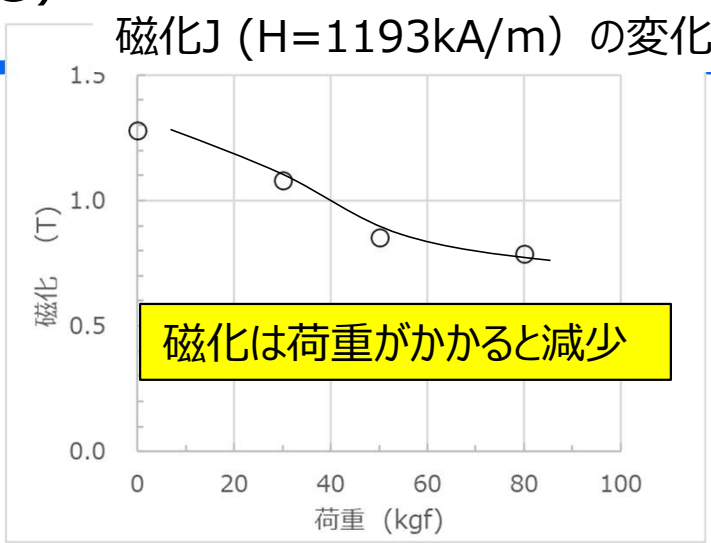


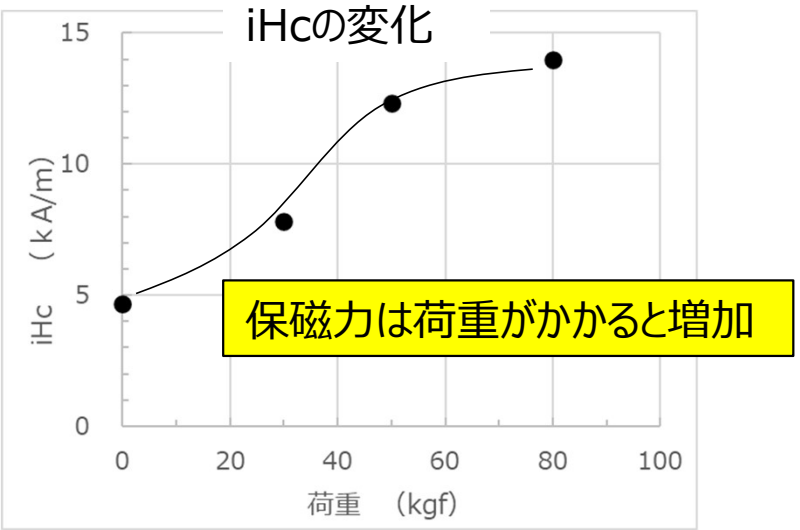


Brの最大値は、磁化の減少と保磁力の向上のバランスで決定

3.4 張力荷重の影響(処理温度：550℃)



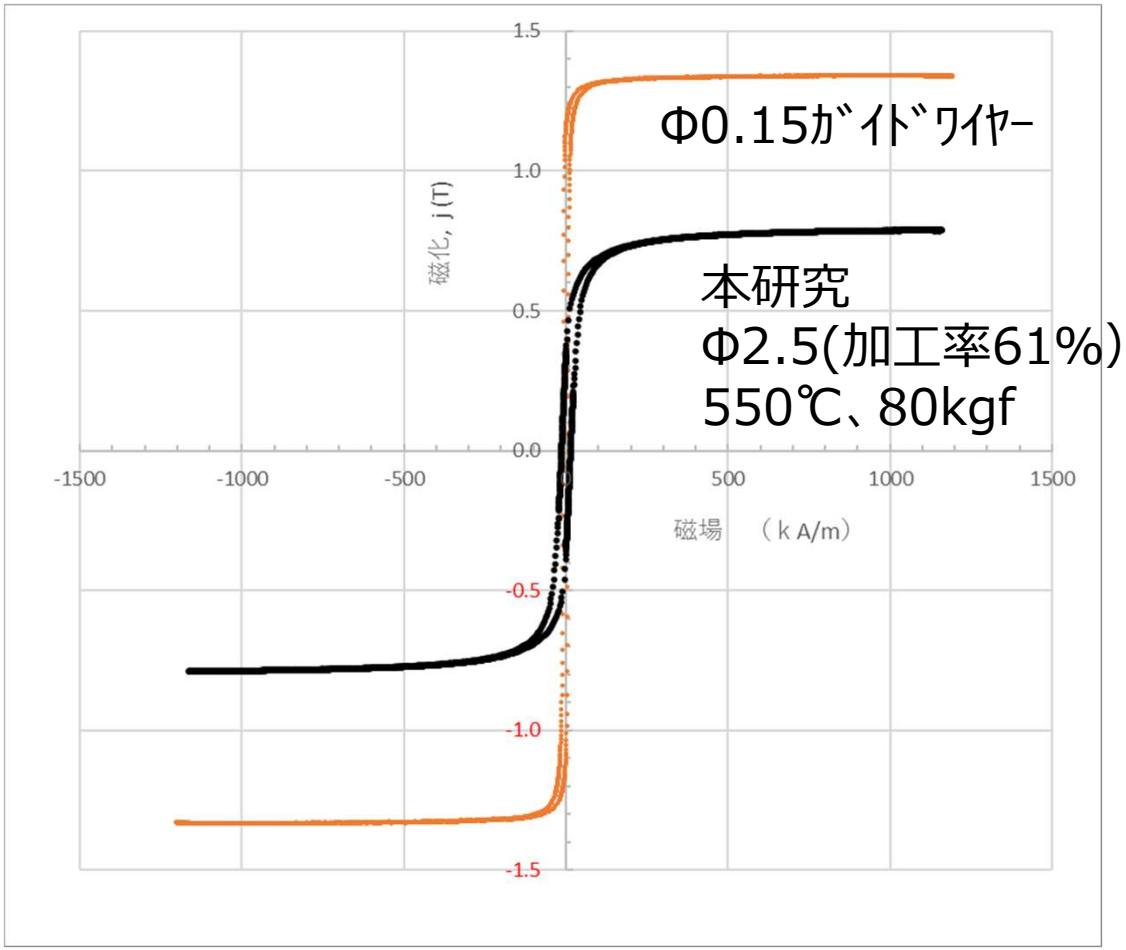




荷重をかけると、磁化は下がるが、Brおよび保磁力は増加傾向を示す

４．考察　本研究とｶﾞｲﾄﾞﾜｲﾔｰとの比較

4.1 磁気特性比較

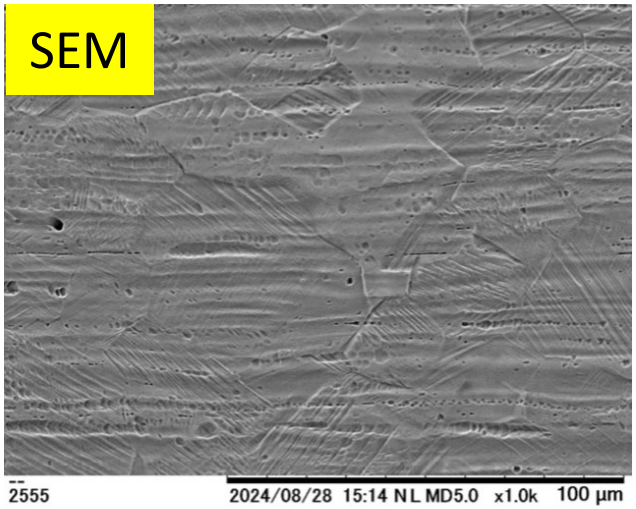


・ｶﾞｲﾄﾞﾜｲﾔｰ(Br:1.13T)
試作品のBrは0.36TとBrが低い

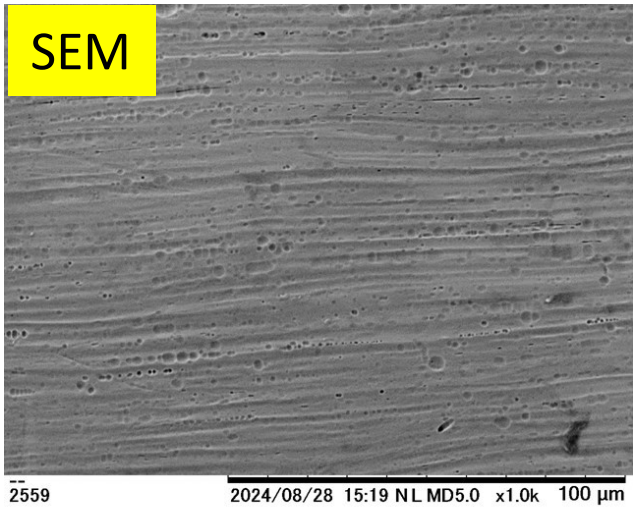
その理由は？

4.2 組織の変化 －加工率変化－

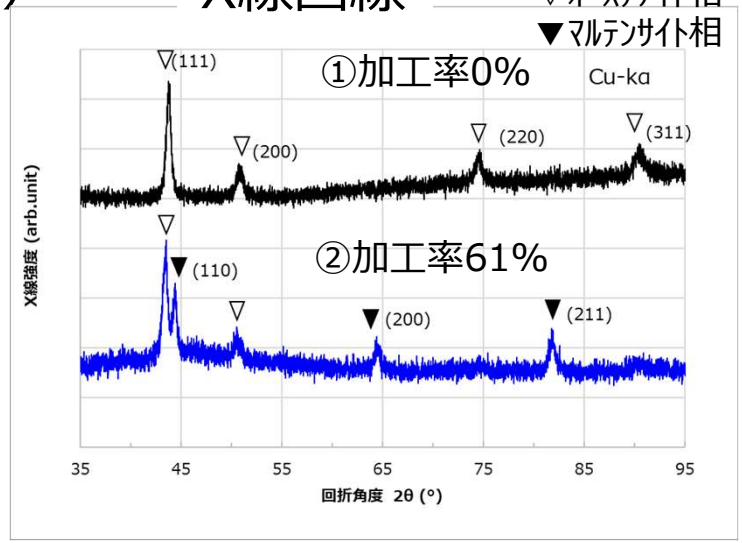
①加工率ゼロ（Ms量０％）



②加工率61%（Ms量85%）



X線回線



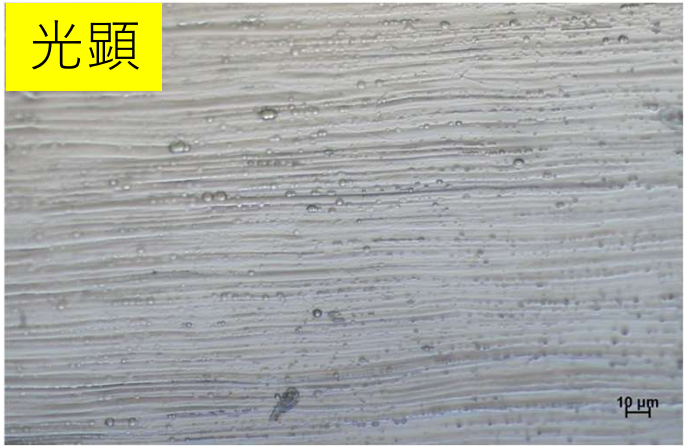
マルテンサイト(α‘）相の存在を確認

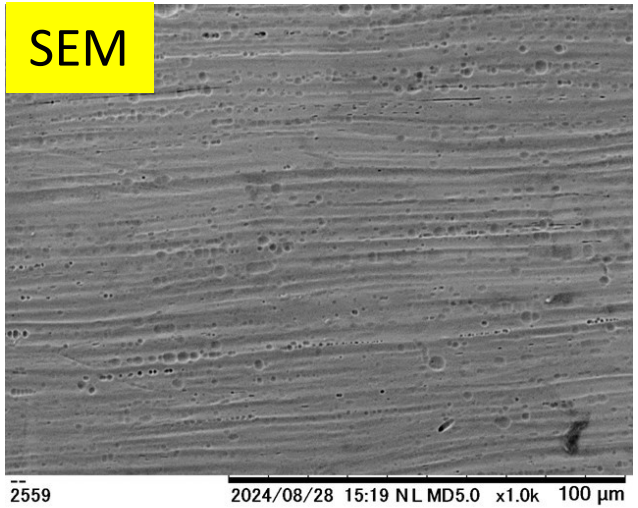
参考文献：稲数等、日本金属学会誌 45(1981) p.860.

α’(磁性)相とγ(非磁性)相の２相の繊維状複合組織が形成

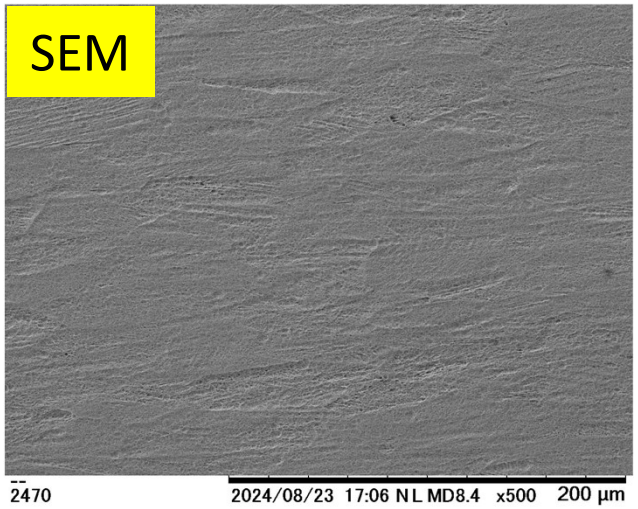
4.3 張力熱処理による組織の変化

張力熱処理前

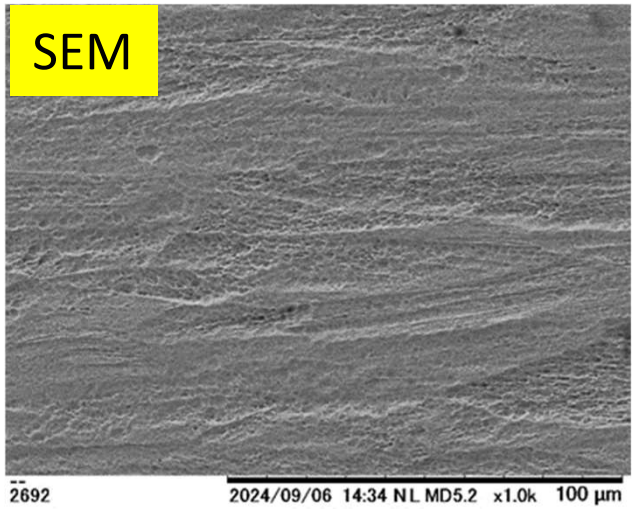




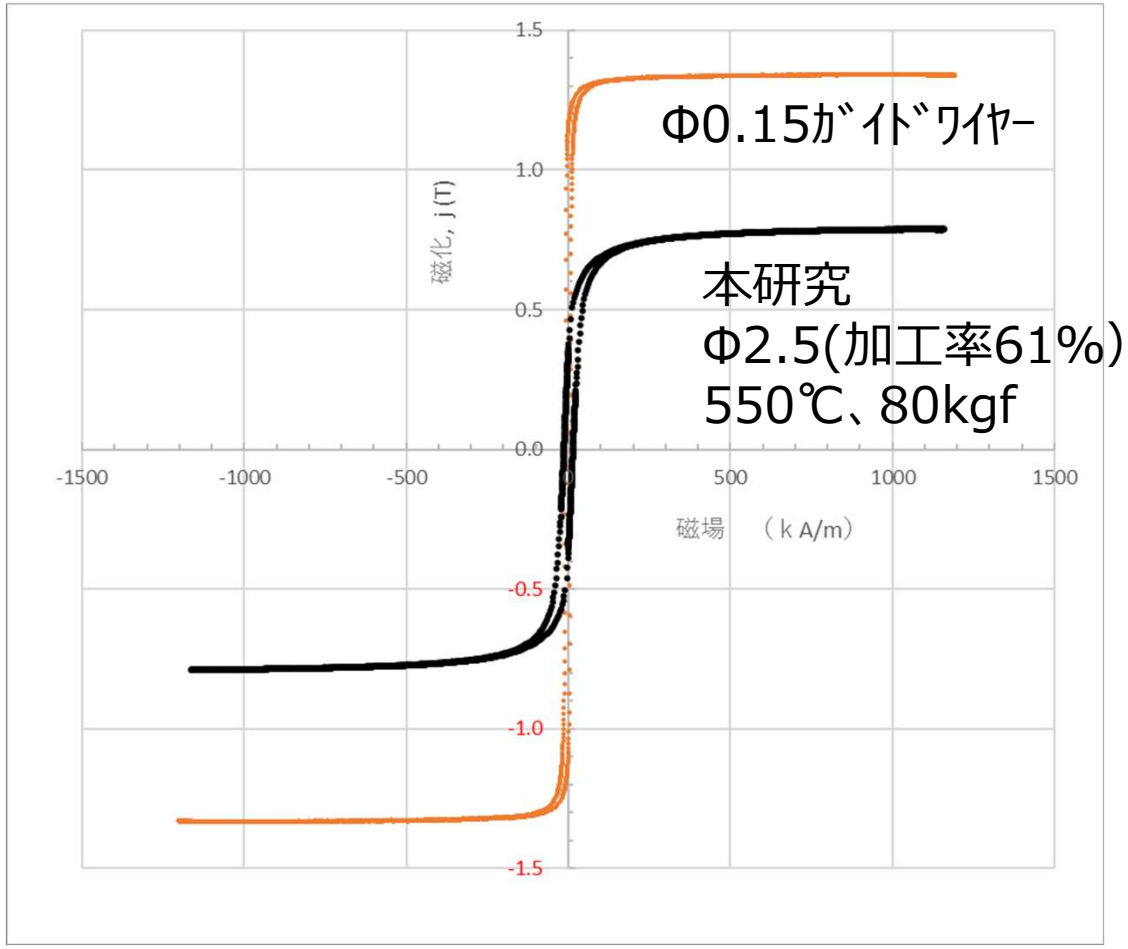
熱処理(550℃)のみ



張力熱処理(550℃　80kgf)



４．考察　本研究とｶﾞｲﾄﾞﾜｲﾔｰとの比較



・ｶﾞｲﾄﾞﾜｲﾔｰ(Br:1.13T)
試作品のBrは0.36TとBrが低い

その理由は？

(1)組織観察：よくわからない
(2)推定理由
推定①：550℃付近で逆変態によるオーステナイト相が析出⇒α‘相を包むように析出で保磁力向上
推定②：Brの違いは今後調査していく

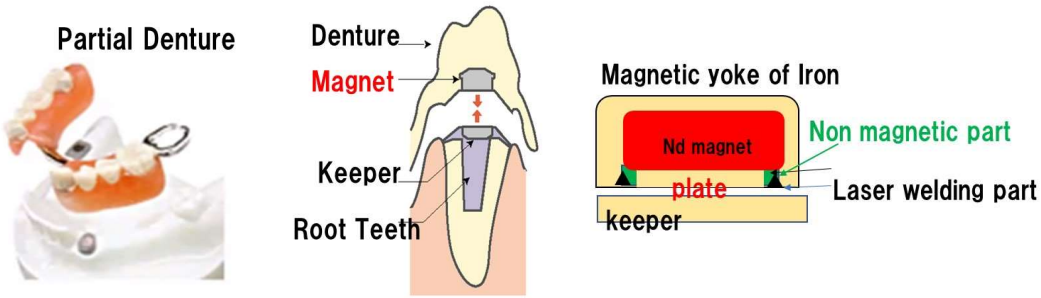
5．ステンレス鋼磁石の応用例

（詳細は本講演会25aE-4,5の報告参照）

ステンレス鋼磁石が期待される用途と望まれる特性

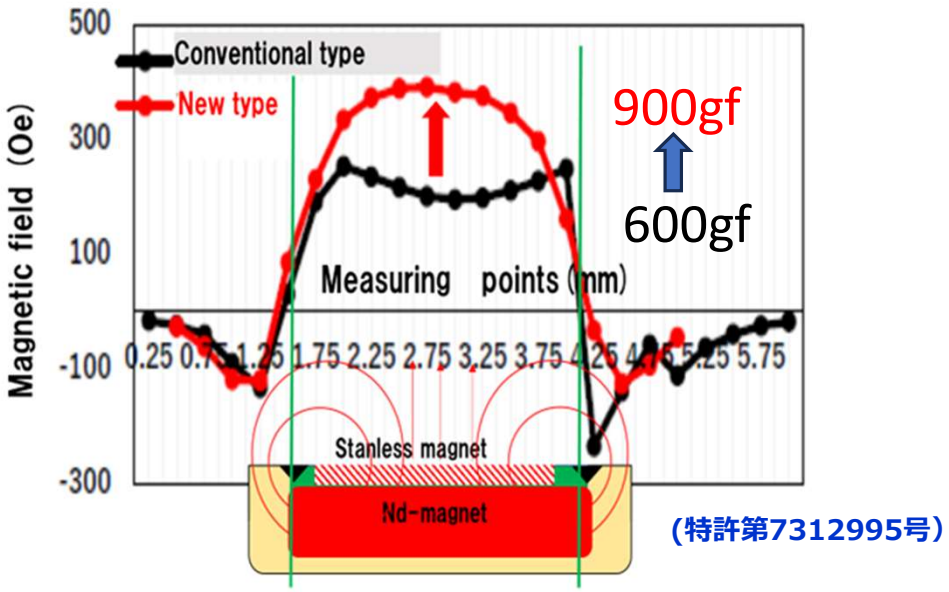
用途		必要特性
医療用	アタッチメント	耐食性 高磁化
	カテーテル	耐食性 高磁化
その他	モータ用ヨーク	高電気抵抗

（1）歯科用磁性アタッチメントへの応用



磁石式歯科用アタッチメントとその構造

(2)磁性ステンレス(軟磁性)→ステンレス鋼磁石(硬磁性)



（特許第7312995号）

- ステンレス鋼磁石を用いることで
- 900gfと 50%向上（30年ぶりの快挙）
- レーザ溶接で磁性⇔非磁性化が可能

国内に販売に向けて認可申請中

６．まとめと今後の進め方

ステンレス鋼磁石の開発を行った結果

１）加工率の増加により、**磁化は向上するが、Brは低い**
　　加工誘起マルテンサイト変態によって、**繊維状組織が形成**

２）550℃で張力熱処理することでBrおよび角形比(Br/J）がピーク

今後の進め方

磁化曲線から、角形性が悪い　⇒　高Brを実現

謝辞：2003年新あいち創造研究開発補助金事業（5-産科技第218−60号）
の支援を受けて開発しました。

ご静聴ありがとうございました