



3D金属プリンタ材の浸炭による異方性と金属組織の特性

旭川工業高等専門学校 生産システム工学専攻 後藤峻○ (学)

機械システム工学科
長岡技術科学大学 機械工学分野

杉本剛
南口誠
出田七摘菜





目次

・ 研究目的	・ ・ ・ 3
・ 試験材料について	・ ・ ・ 4
・ 工程	・ ・ ・ 5
・ 熱処理方法	・ ・ ・ 6
・ 結果	
浸炭材の観察	
・ 光学顕微鏡	・ ・ ・ 7
・ ビッカース硬さ試験	・ ・ ・ 8
・ SEM：EDS・ライン分析	・ ・ ・ 9
3D金属プリント材観察	
・ SEM観察	・ ・ ・ 10・11
・ SEM：EDS：マップ分析	・ ・ ・ 12・13
・ SEM：EDS：ライン分析	・ ・ ・ 14
・ まとめと今後について	・ ・ ・ 15

研究目的

金属積層造形（Additive Manufacturing:AM）技術は自由度と設計・生産のしやすさから、この先、需要と利用先分野が増えると考えられる。
そこで今後の超高強度需要に対応する為、マルエージング鋼で作成したAM材においてその金属組織が浸炭熱処理特性に与える影響を明らかにしていく。



試験材料：AM材について

製作：長岡技術科学大学
 生成機：DMG森精機AMLASERTEC30SLM
 積層方法：粉末レーザー
 使用粉末：マルエージング鋼（成分は右表）
 積層方向

Stripe strategy：同方向材
 レーザー出力：290W
 Ches strategy：異方向材
 レーザー出力：250W

生成速度：1000 [mm/s]
 生成間：0.1 [mm]

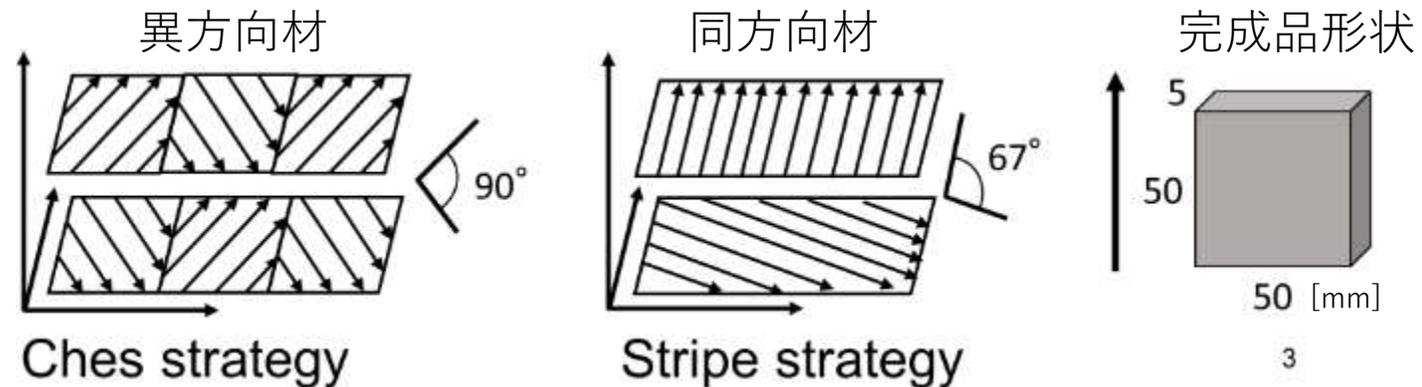
mass%

Fe	Ni	Co	Mo	Ti	Al	C	Mn	Si
Bal.	18	9	5	0.7	< 0.1	< 0.01	< 0.1	< 0.1

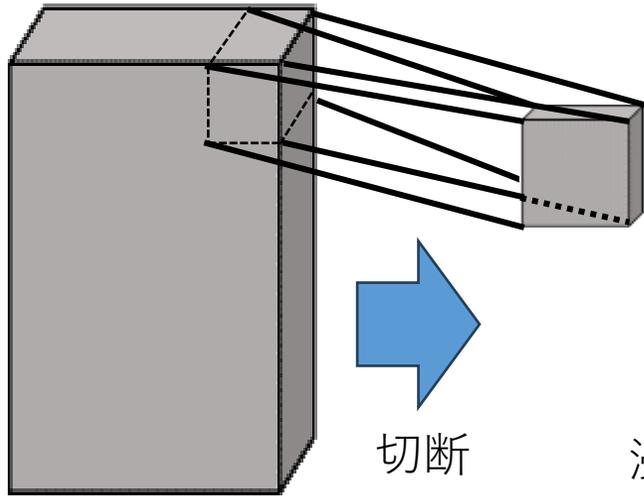
成分表

material	laser power	scan speed	hatch distance	layer thickness
18%Ni maraging steel	Ches: 290 W Stripe: 250 W	1000 mm/s	0.1 mm	50 μm

積層条件



熱処理・加工工程



切断



浸炭熱処理

フルテックFT-02VAC-50
1200°C、 ϕ 40mm 後炉冷



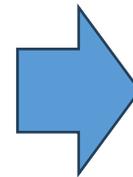
樹脂埋め



研磨



腐食
3%ニイタール



ビッカース硬さ試験
観察
光学顕微鏡
SEM



熱処理方法



条件

- ・ 処理圧力-99.8kPaG
- ・ アセチレン C_2H_2
- ・ 温度 $930[^\circ C]$

加熱時間

30分加熱、90分保持

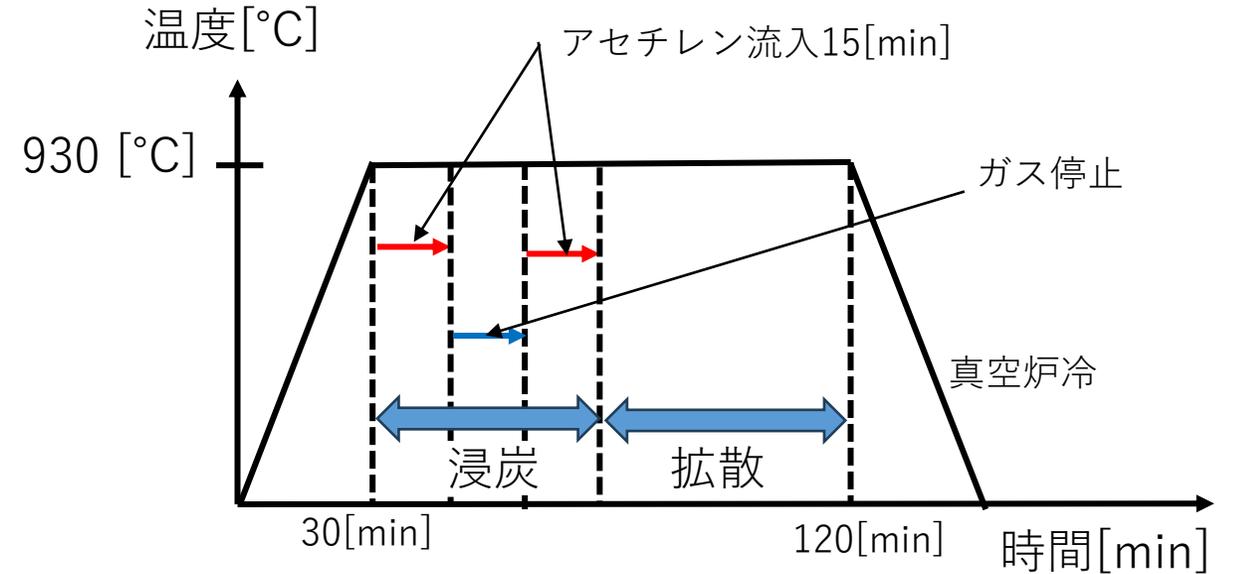
アセチレン流量

15分を2回 途中15分ガス停止

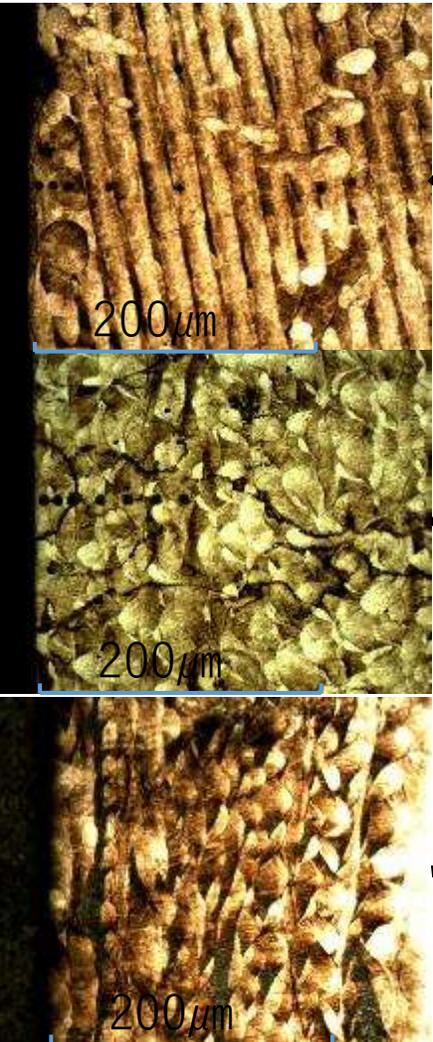
アセチレン流入量：50[L/h]

75分拡散しその後

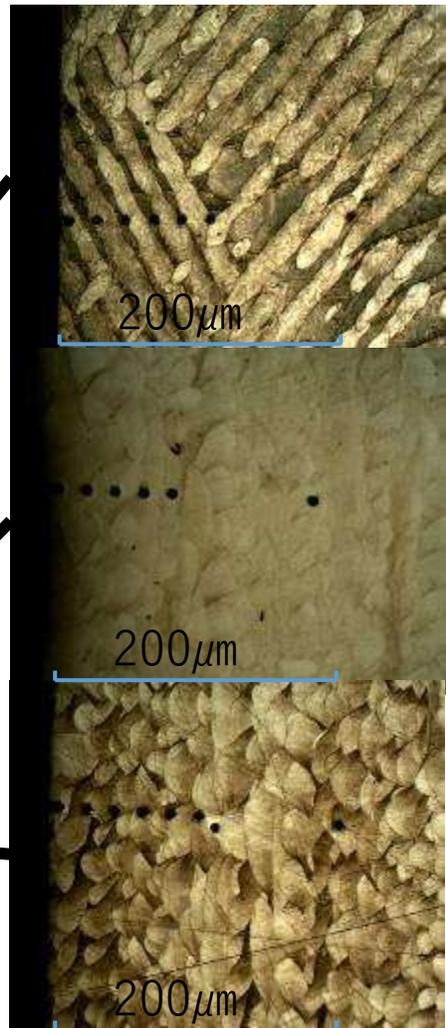
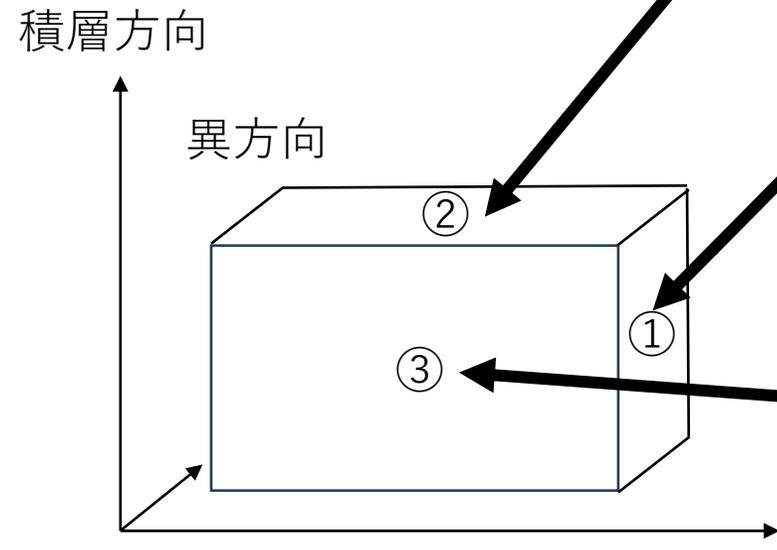
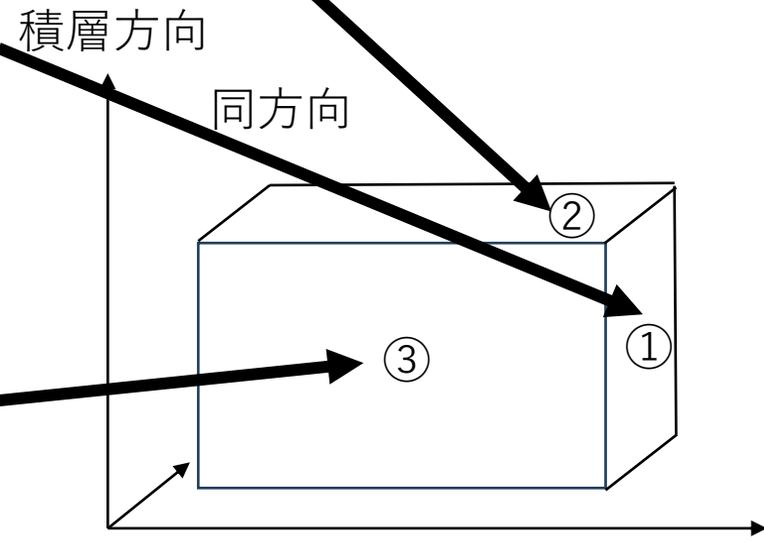
真空状態で炉冷



観察：光学顕微鏡



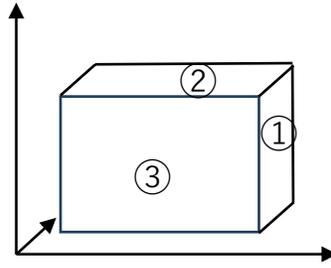
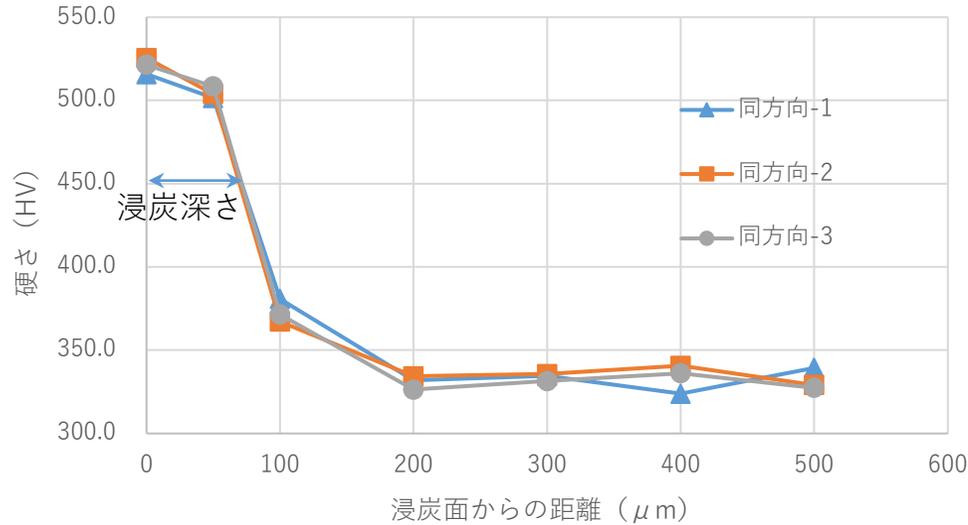
観察方向によって見え方が異なる
また、横方向、奥行き方向に関しては似通った模様が観察された



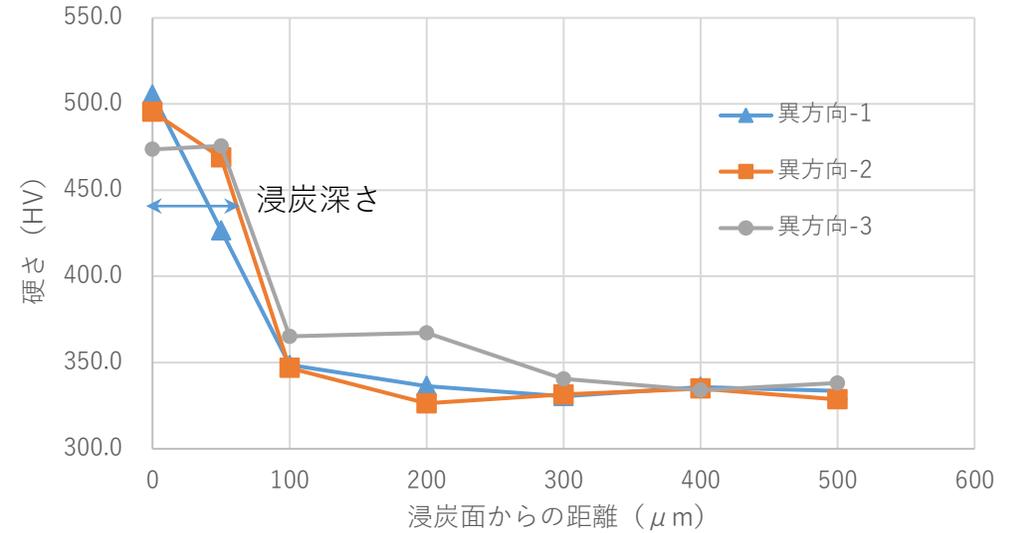
ビッカース硬さ試験



同方向積層材-1-2-3



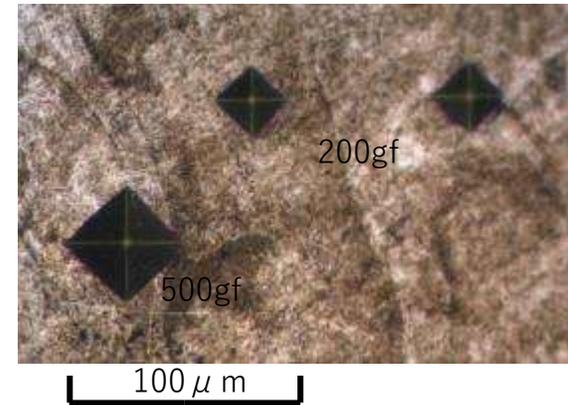
異方向積層材-1-2-3



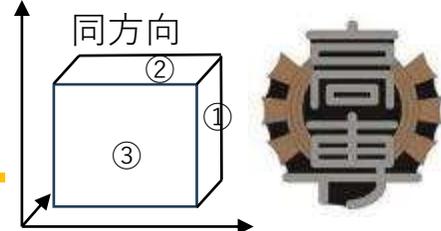
ビッカース硬さ試験荷重 500gf ※粒状組織や融解痕を考慮し大きな荷重で行った。
同方向に積層されたAM材は比較的に向きによる大きな浸炭深さの差はなかった
異方向に積層されたAM材は方向により大きな浸炭深さの差を示した
しかし、どちらも小さな荷重200gf程度で行うと方向によって様々な値を取ることが分かっている。

(低荷重ではバラツキが多い)

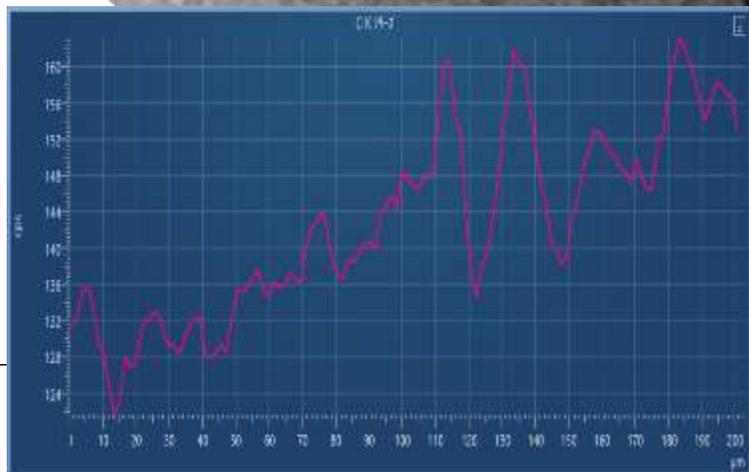
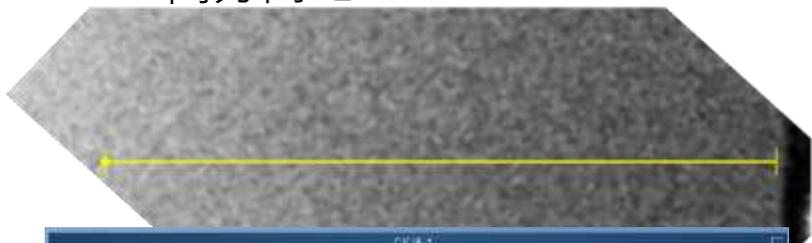
ここで浸炭深さの差は何に起因しているかを調査しなければならない



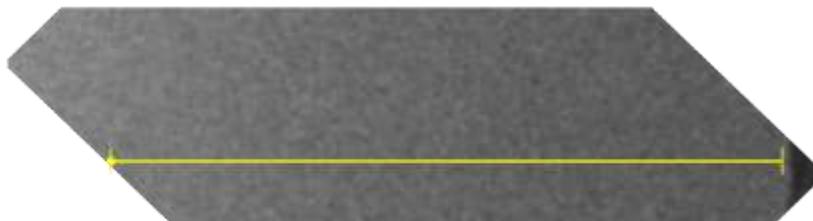
観察：SEM：EDS：ライン分析：同方向



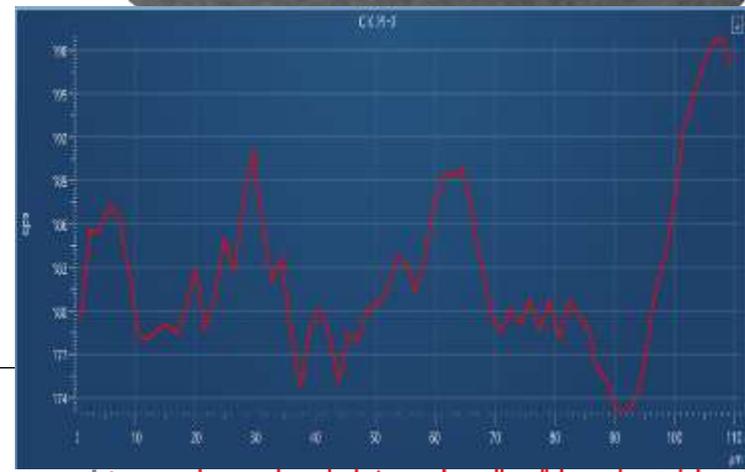
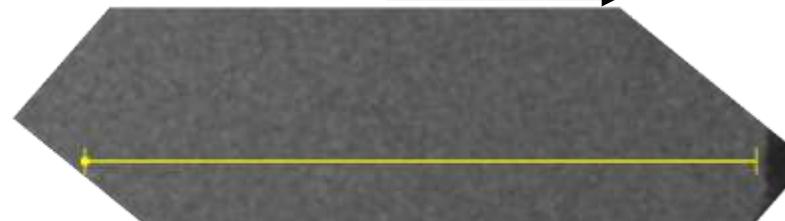
同方向-1



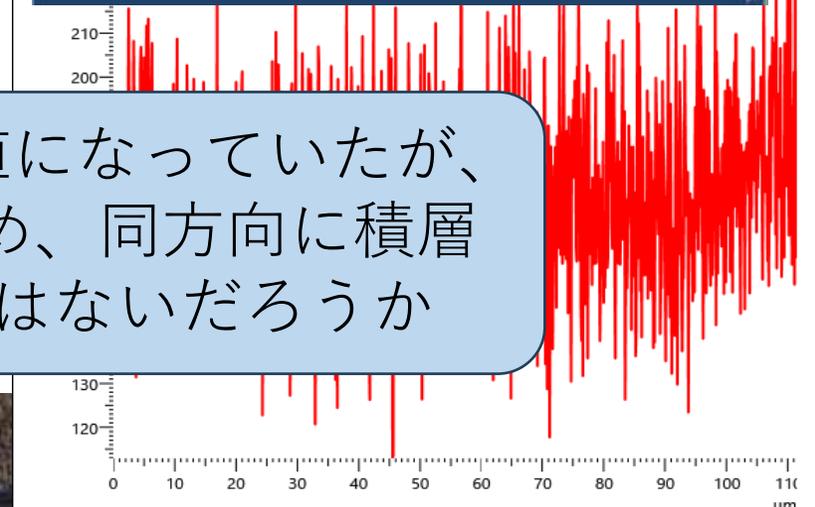
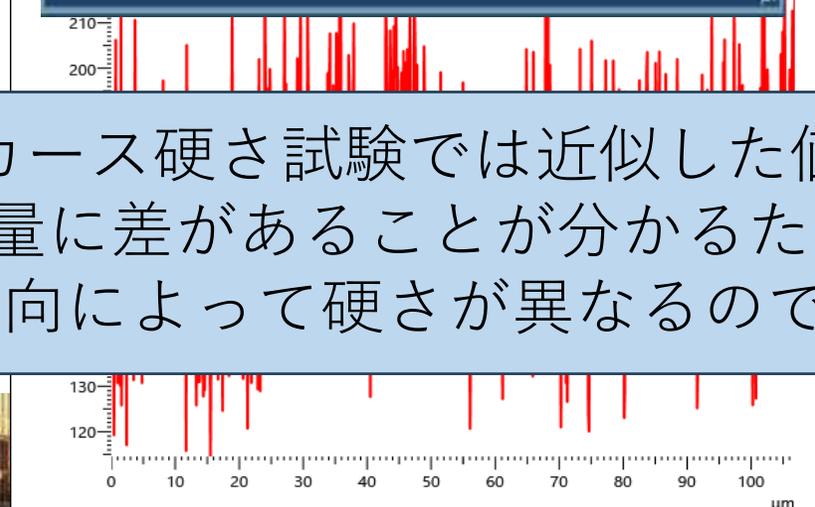
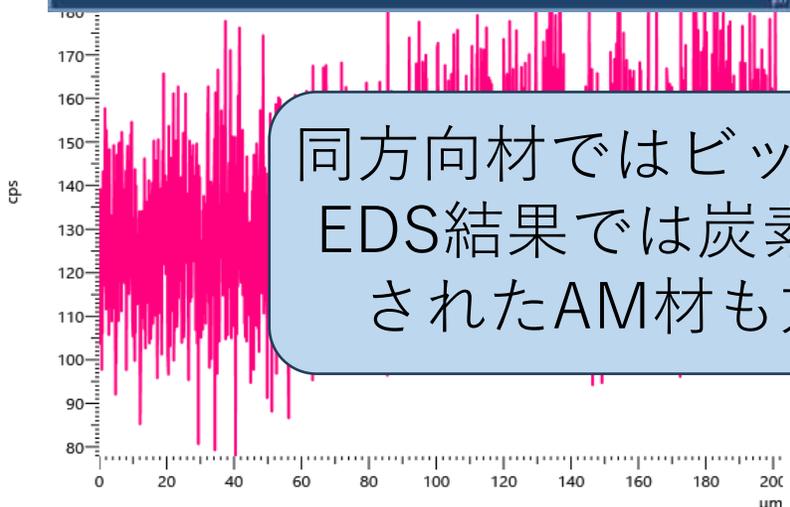
同方向-2



同方向-3



同方向材ではビッカース硬さ試験では近似した値になっていたが、EDS結果では炭素量に差があることが分かるため、同方向に積層されたAM材も方向によって硬さが異なるのではないだろうか



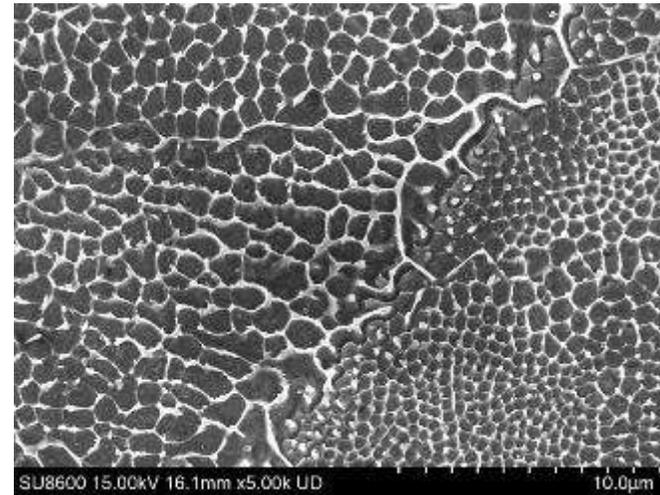
觀察：SEM-同方向



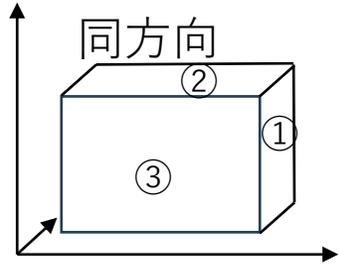
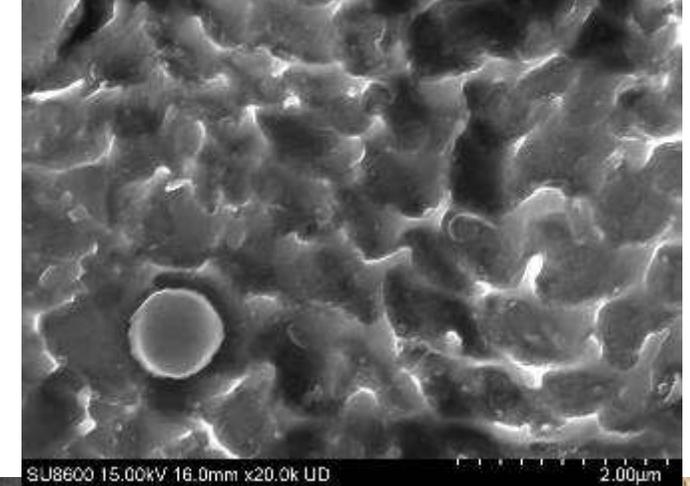
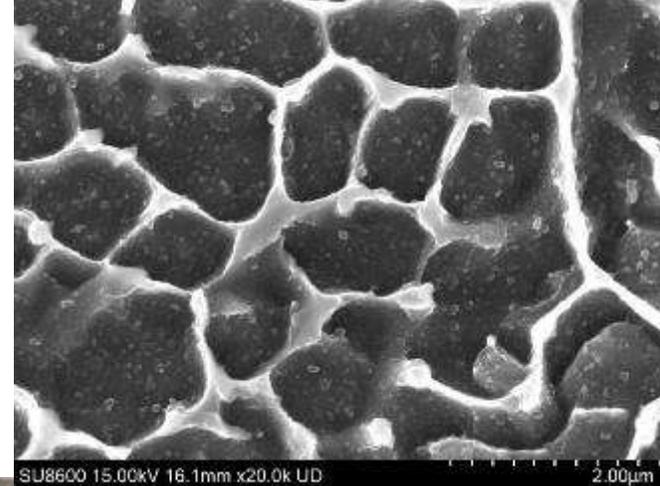
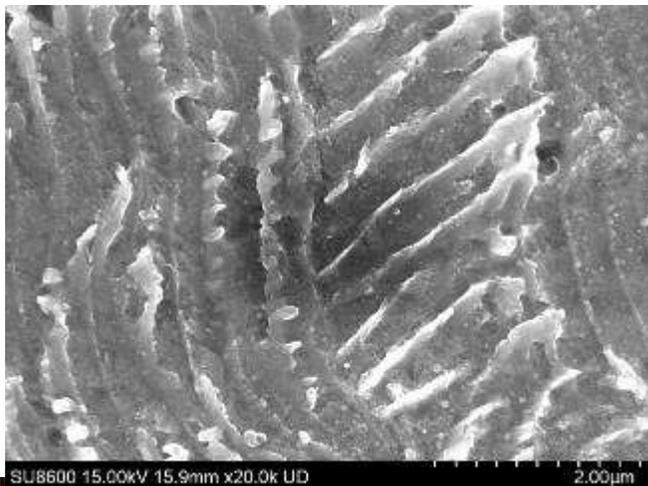
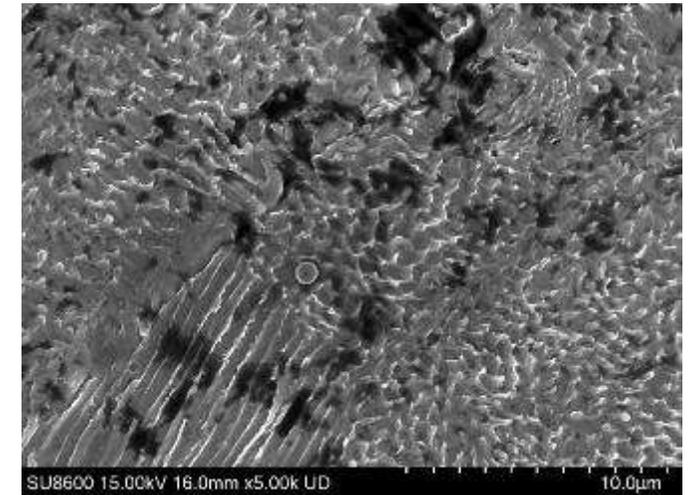
D-1



D-2



D-3

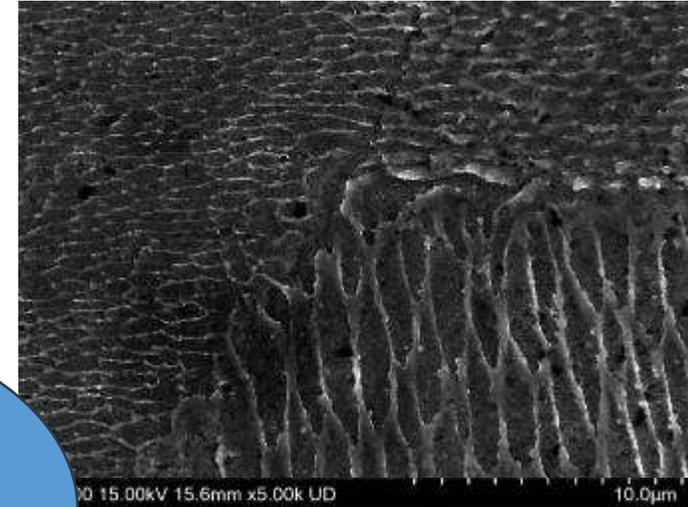
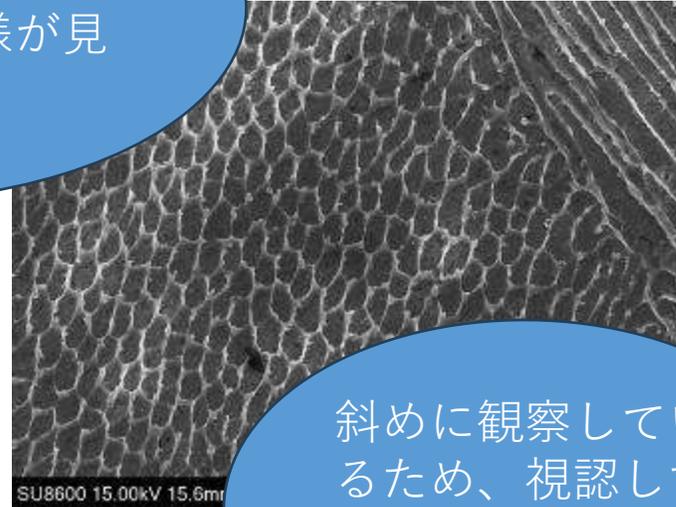
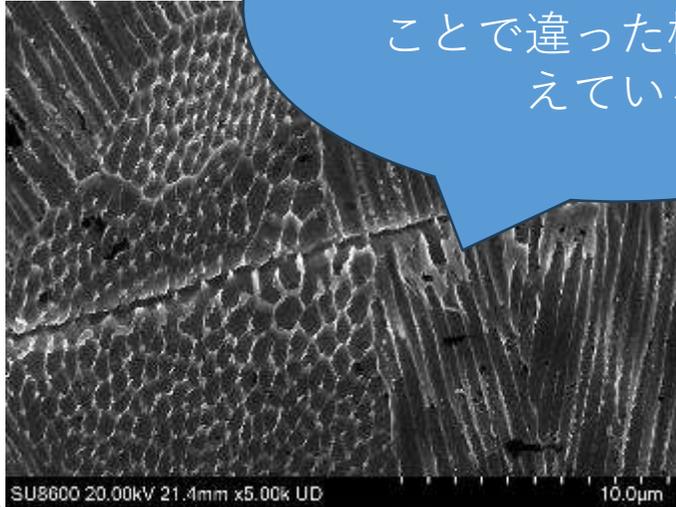
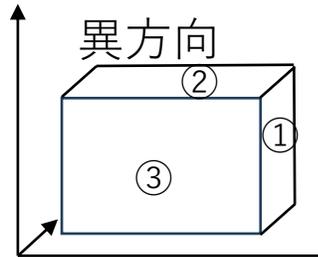


観察：SEM-異方向

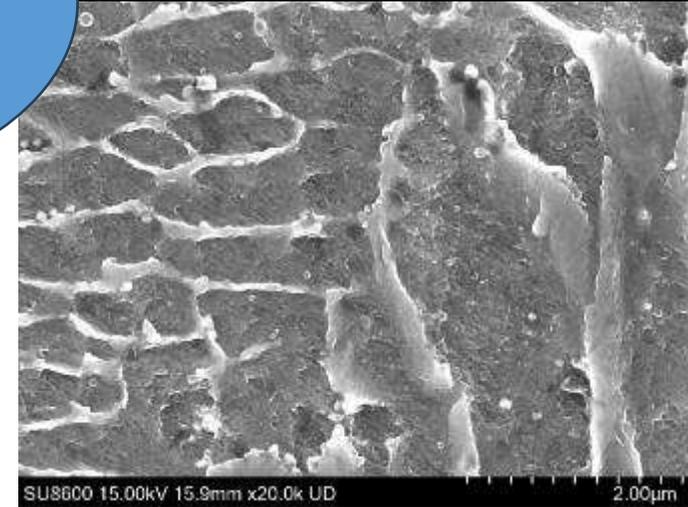
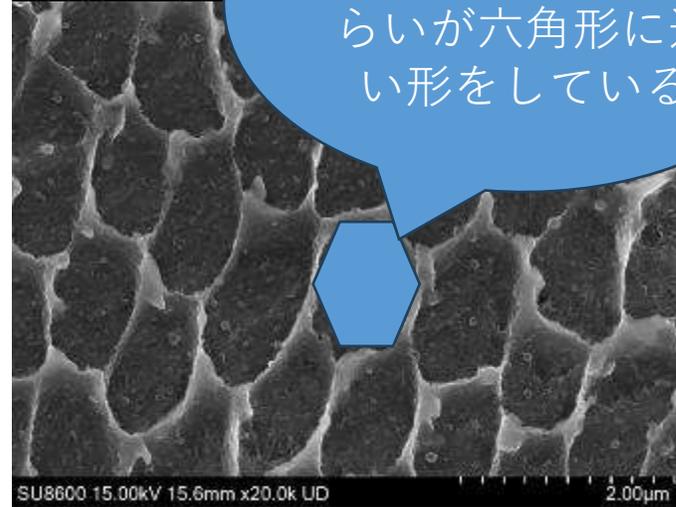
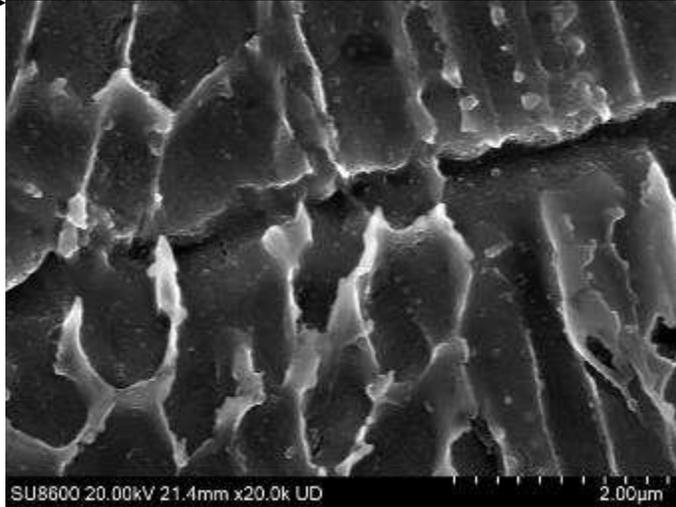
C-

C-3

部分的に金属組織の方位が異なり、腐食することで違った模様が見えている



斜めに観察しているため、視認しづらいが六角形に近い形をしている



観察：SEM：EDS：マップ分析-同方向

同方向-1

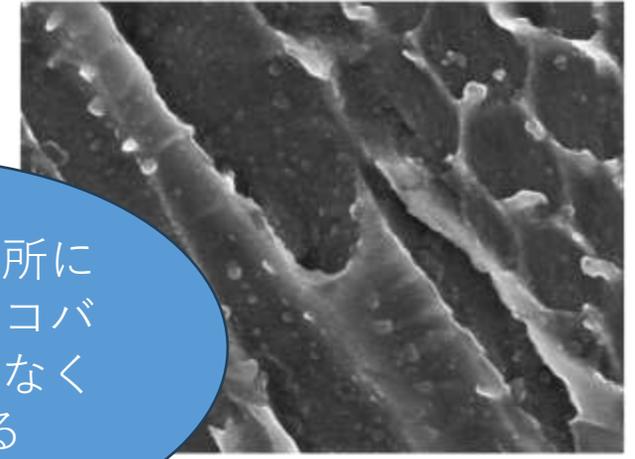
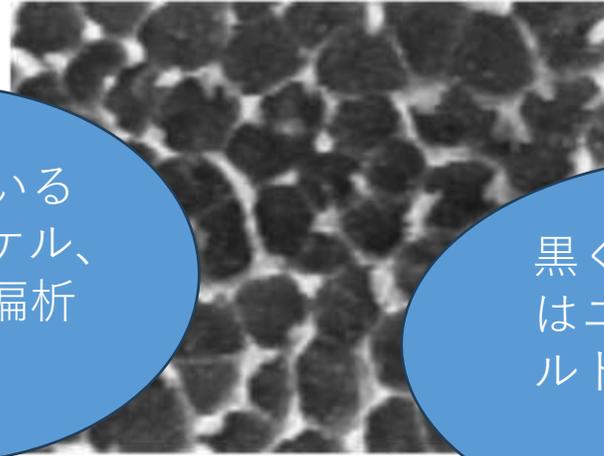
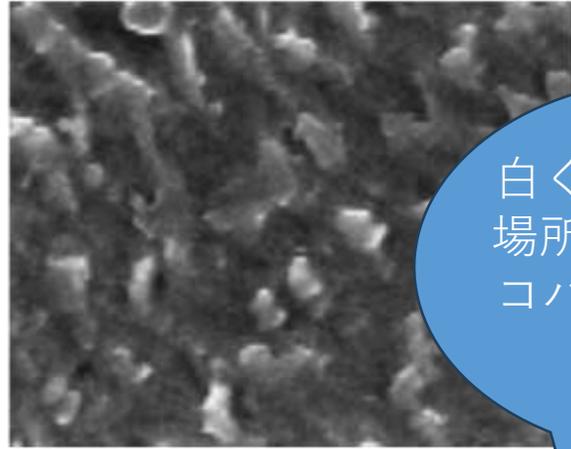
同方向-2

同方向-3

電子画像 2 (Input1)

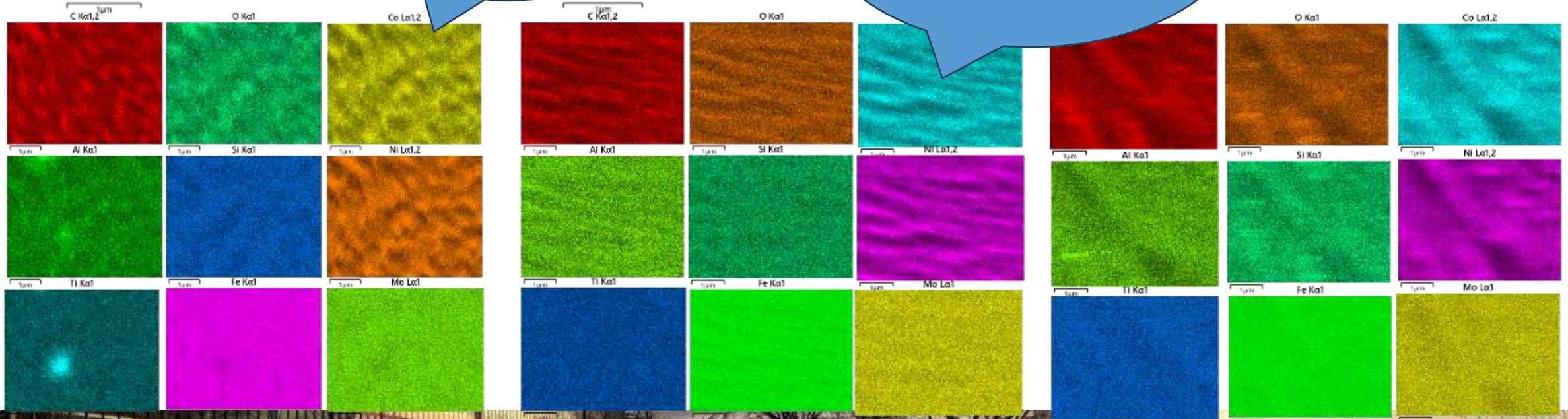
電子画像 7 (Input1)

電子画像 10 (Input1)



白くなっている
場所はニッケル、
コバルトが偏析
している

黒くなった場所には
ニッケルとコバルトが溶けるなく
なっている



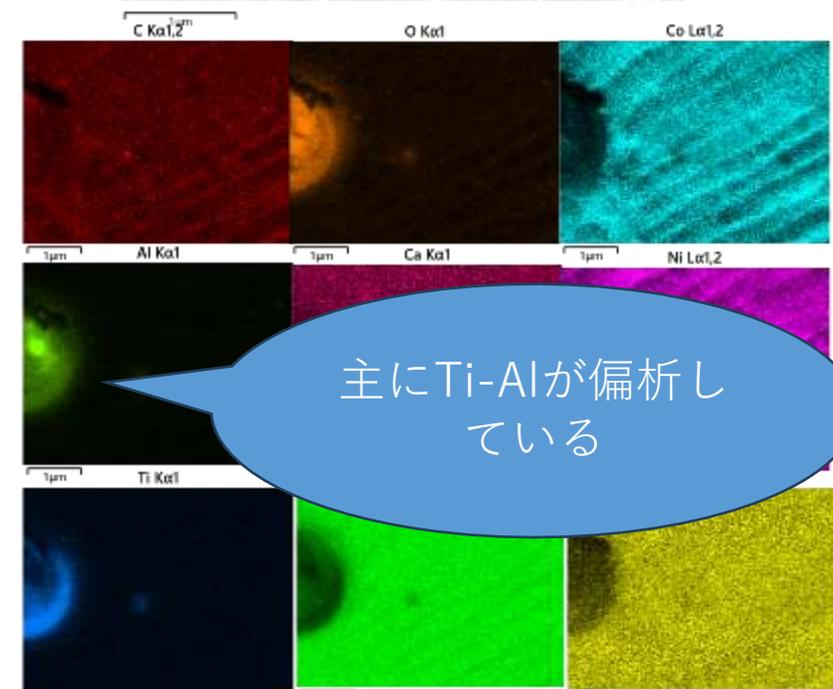
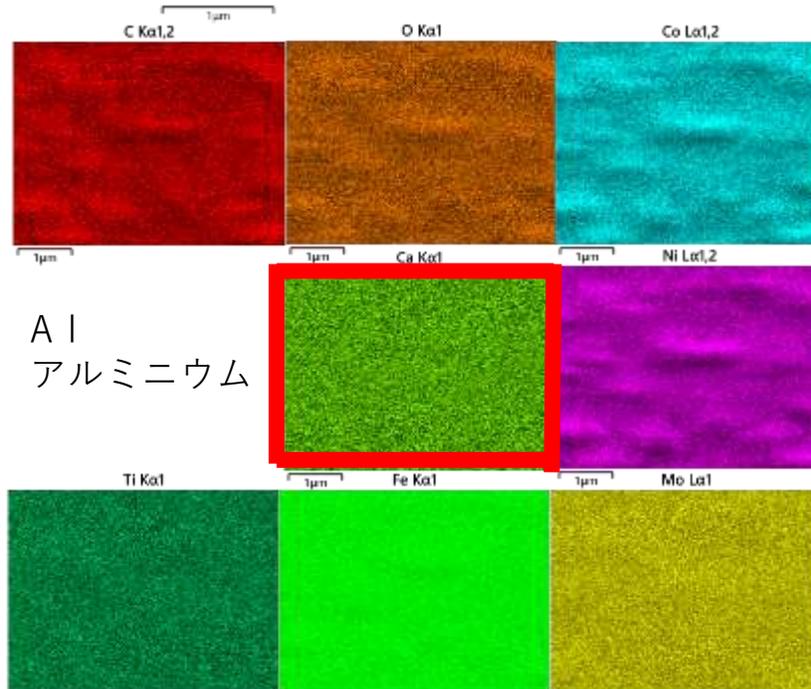
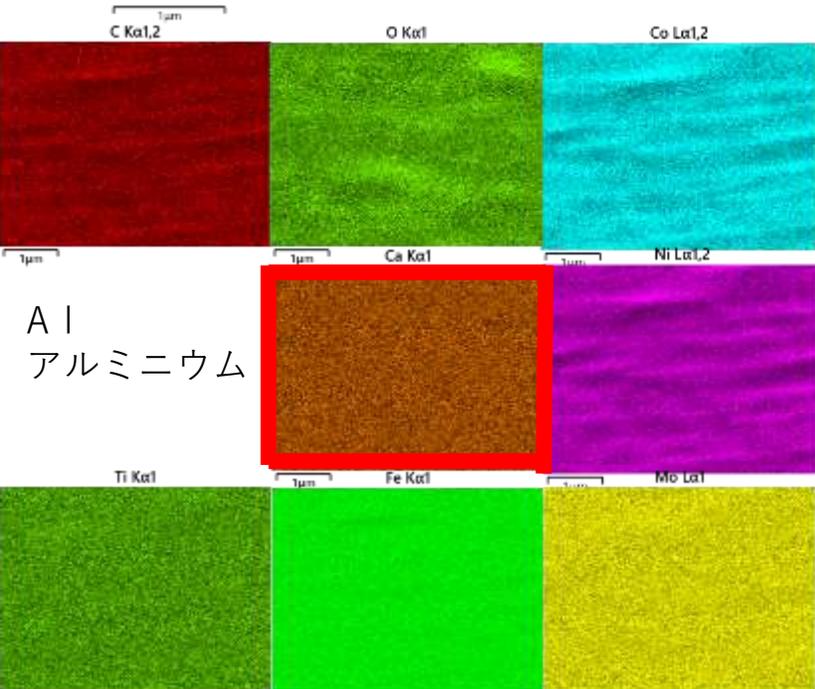
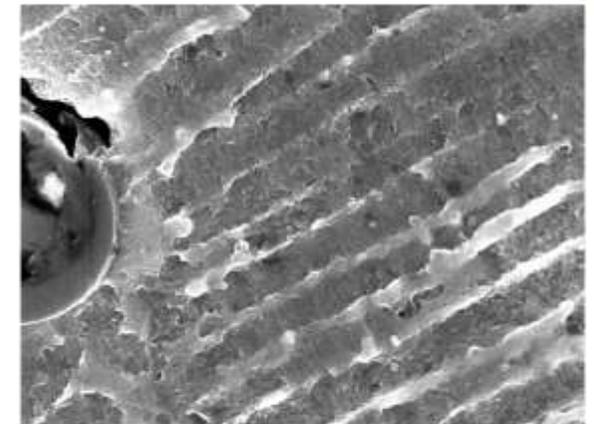
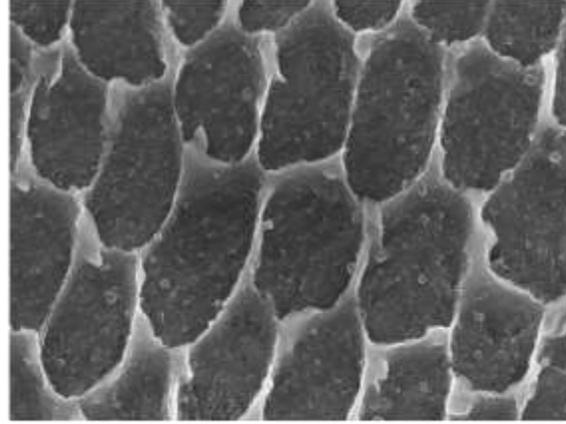
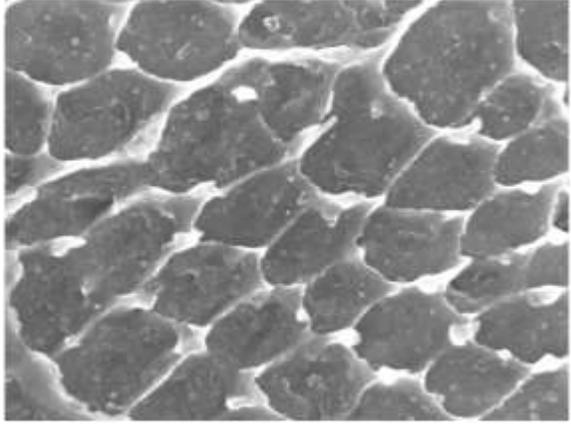
観察：SEM：EDS：マップ分析-異方向



異方向-1

異方向-2

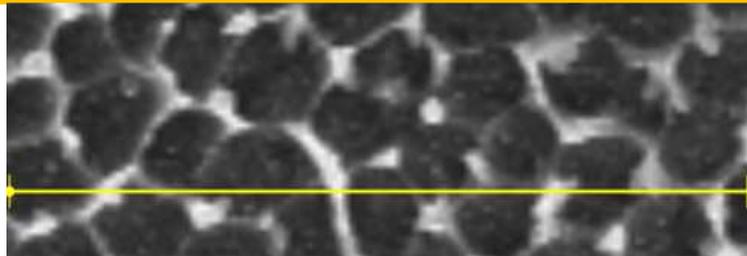
異方向-3



観察：SEM：EDS：ライン分析-同方向

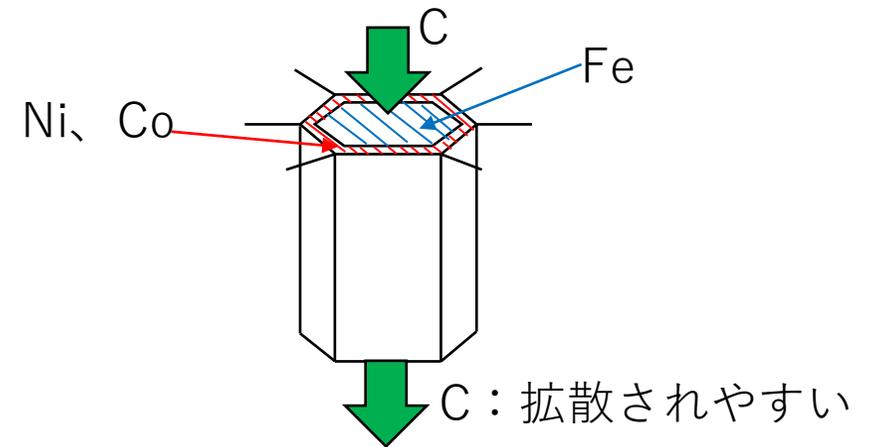
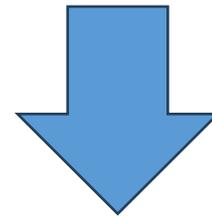
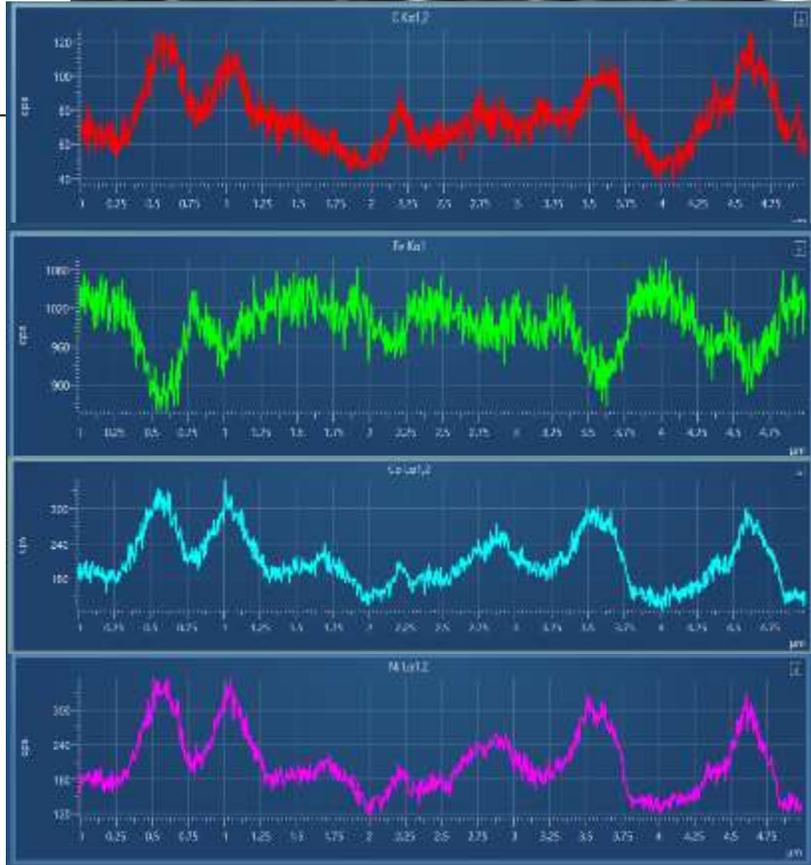


D-2



熱処理されていない同方向積層材
腐食後

ライン分析を行った結果
マップ分析より精密なため画像の白い部分と黒い部分の差がはっきりと表れ、鉄Fe、コバルトCo、ニッケルNi、炭素Cの偏析がはっきりと確認できる
炭素C、コバルトCo、ニッケルNiは同じ分布になっているが、鉄は真逆の分布をしている



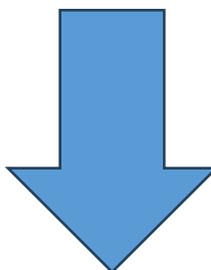
鉄が偏析している場所にも拡散していたが、腐食によって鉄と共に溶けだしてしまった



結果まとめ



- 積層方向に対する向きによって浸炭深さが異なる。
- 積層され方によって浸炭深さが異なる
- マルエージング鋼で生成されるAM材では、腐食後SEM観察、EDS解析を行うと金属元素が偏析していることが分かる。
- それぞれ1、2、3の方向を観察したがどの方向も小さな六角形柱状組織が様々な方向で析出していると考えられる

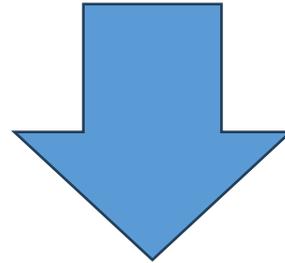


- 炭素の拡散速度が方向や積層のされ方により異なることが考えられる。
- 小さな六角形柱状組織は向いている方向が異なるものが多いことが分かる。つまり結晶方位や結晶の成長方向が異なっていることが考えられる
- 六角形柱状組織はレーザー溶融によって凝固した時に発生し、向きが異なることが考えられる
- 炭素の拡散は転移も関係している可能性があることが考えられる。



今後実験について

- ・炭素の拡散速度が方向や積層のされ方により異なることが考えられる。
- ・小さな六角形柱状組織は向いている方向が異なるものが多いことが分かる。つまり金属方位が異なっているのが考えられる
- ・六角形柱状組織はレーザー溶融によって凝固した時に発生し、向きが異なることが考えられる



- ・ SEM：EBSD結晶方位観察 結晶方位を明確化する
 - ・ レーザー痕と六角形柱状組織の関係性を調べる
- 加えて
- ・ TEM：転位を明らかにし、転位と炭素の拡散、積層構造との関係性を調べる

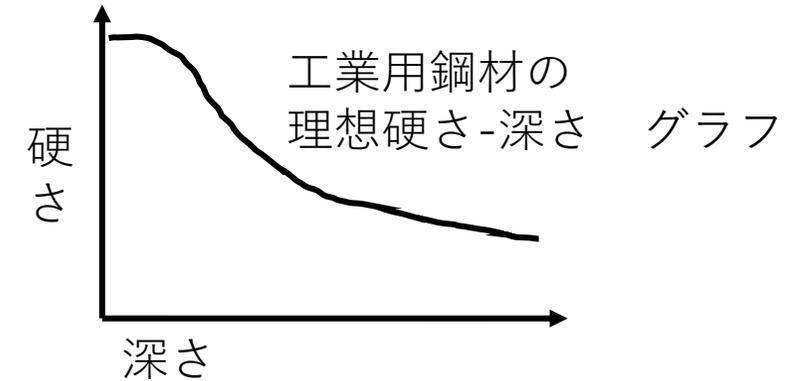


ご清聴ありがとうございました。

付録-本研究におけるマルエージングAM材の価値



工業用鋼材の理想的な浸炭熱処理のみでは容易には得ることが難しい
しかし、マルエージング鋼のAM材は浸炭熱処理のみで理想的なグラフを得ることができた
焼入れする必要がなく、理想硬さ分布を得られるため、熱変形が少なく、熱処理加工が容易なのではないかと考える





旭川工業高等専門学校