

機関番号：13903

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760553

研究課題名（和文） 連続傾斜組織を有する鉄鋼材料を利用したマルテンサイト相
成長機構の究明

研究課題名（英文） Growth process of martensite in Fe alloys with graded microstructure

研究代表者

佐藤 尚 (SATO HISASHI)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50402649

研究成果の概要（和文）：

温度傾斜をつけたサブゼロ処理あるいはひずみ傾斜をつけた変形によって、試料内部でマルテンサイト組織が傾斜分散した連続傾斜組織試料を作製し、バラフライ状マルテンサイト相の成長挙動について調査した。マルテンサイト相の性質(形態)はマルテンサイト変態開始温度のみでなく、成長中の温度にも依存する。また、このマルテンサイト相の性質は各温度で生じる変態ひずみの緩和機構によって説明可能であることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

Growth process of butterfly-type martensite is investigated by using Fe-Ni alloy with graded microstructure. The Fe-Ni alloy specimens with graded microstructure are made by the sub-zero treatment under graded temperature or the deformation with graded strain distribution. Characters of martensite depend on not only martensitic transformation temperature but also temperature during its growth. In addition, it is found that the character of martensite is determined by accommodation process for transformation strain under its formation and growth process.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：材料組織学，材料強度学

科研費の分科・細目：構造・機能材料





キーワード：相変態，鉄鋼材料，EBSD，傾斜機能材料，マルテンサイト

1. 研究開始当初の背景

鉄鋼材料に生成するマルテンサイト(α')相の形態は、表1に示されるように、マルテンサイト変態開始温度(M_s 点)が高くなるにつれて薄板状、レンズ状、バラフライ状およびラス状へと変化する。これは、変態ひずみを緩和するために α' 相内部で生じる格子欠陥(転位や双晶)が M_s 点に従って変化するた

めである。たとえば、転位が動けない低温で生成する薄板状 α' 相は微細な双晶を有する。一方、比較的高温で生じるラス状 α' 相には高密度の転位が存在する。さらに、その中間温度で生じるレンズ状、バラフライ状 α' 相内部には転位と双晶の両方が存在する。すなわち、 α' 相の形態やその特徴は、 M_s 点に従って連続的に変化する。

表 1 α' 相の種類とその特徴

種類	薄板状	レンズ状	バタフライ状	ラス状
形態				
生成温度(Ms)	低い	←————→		高い
欠陥	双晶	双晶+転位		転位

このように、Ms 点に依存した各 α' 相の形態や微細組織の変化は明らかにされてきた。しかしながら、それぞれの α' 相に対する成長機構に関しては不明な点が多い。特に、緩和機構として双晶と転位の両方が存在するレンズ状およびバタフライ状 α' 相の成長に関しては、体系的な研究が少ない。これは、 α' 相の成長が音速に近い速度で進行することや中間温度で生成する α' 相の組織が複雑であることに起因する。しかし、鉄鋼材料の強度を支配する微細組織を確実に制御するためには、 α' 相の成長機構を考える必要がある。

これまで、申請者は、水冷によって得られた Fe-30wt.%Ni 合金中のバタフライ状 α' 相が液体窒素によるサブゼロ処理によって成長する現象を見出した。同様に、申請者は、Fe-30wt.%Ni 合金中のバタフライ状 α' 相が変形によって成長する現象も見出している。

その現象にもとづいて、申請者らは、水冷された Fe-30wt.%Ni 合金に温度傾斜をつけてサブゼロ処理を施し、その温度傾斜方向に対する組織変化を調査することで、バタフライ状 α' 相の成長挙動を解明可能であると考えた。さらに、申請者らは、水冷された Fe-30wt.%Ni 合金に対してひずみ量に傾斜をつけて変形を施し、ひずみ傾斜方向への組織変化を調べることによって、加工誘起によるバタフライ状 α' 相成長挙動も明らかにすることが出来ると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、熱誘起および加工誘起による α' 相成長挙動の解明を最終的な目的としている。特に、本研究では、表 1 におけるバタフライ状 α' 相の成長挙動に着目する。これは、その温度域における α' 相の成長挙動に不明な点が多いためである。

そこで、本研究では、水冷された Fe-30wt.%Ni 合金に温度傾斜をつけてサブゼロ処理を施し、その温度傾斜方向に対して連続的な傾斜組織を有する試料（温度傾斜試料）を作製する。さらに、水冷された Fe-30wt.%Ni 合金に対し、ひずみ量に傾斜をつけて変形を施すことによって、そのひずみ傾斜方向に連続的な傾斜組織を有する試料（ひずみ傾斜試料）も作製する。それらの試料内部における α' 相の組織変化を調査することで α' 相の成長挙動を評価する。

なお、後に結果を述べるが、本研究では、ひずみ傾斜試料を作製するうえで、試料表面に摩擦摩耗およびショットピーニング加工を用いた手法も行っている。その際、加工表面近傍に特異な相変態挙動を生じることを見出した。それゆえ、表面加工に伴う特異な相変態挙動の発現要因についても調査した。

3. 研究の方法

(1) 温度傾斜試料を用いた α' 相の成長挙動の解明

Fe-30wt.%Ni 合金インゴットより、ワイヤ放電加工機にて 70.6mm×14.4mm×2.44mm の寸法を有する板状試料を切り出した。切り出した試料に対し、1000℃で 1 時間のオーステナイト化処理を施し、水冷した。Fe-30wt.%Ni 合金および Fe-29wt.%Ni 合金の Ms 点は、それぞれ室温および 73℃であることが知られている。したがって、本研究で用いた試験片は水冷によって α' 相が生成する。得られた試料に対して機械研磨および腐食研磨を供し、温度傾斜をつけたサブゼロ処理用の試験片を作製した。

その後、作製した試験片を用いて温度傾斜をつけたサブゼロ処理を行った。図 1 は、温度傾斜をつけたサブゼロ処理を示す模式図である。なお、サブゼロ処理は、液体窒素を用いる方法と冷却エタノールを用いる方法の 2 通りで実施した。各サブゼロ処理の方法は、次の通りである。

■液体窒素を用いたサブゼロ処理

液体窒素によるサブゼロ処理は、試料の先端 2mm を液体窒素に浸した状態で 10 分間保持をした後、試料を取り出すことで行った。また、冷却中における試料の温度分布は、T 型熱電対を用いて測定した。

■冷却エタノールを用いたサブゼロ処理

本試験では、試料の先端 2mm を -90℃の冷却エタノールに浸し、その状態で 4 分間保持することによってサブゼロ処理を行った。その際、試料内部における温度分布は T 型熱電対を用いて測定を行った。

上記のサブゼロ処理を施した後、各温度領域における微細組織を光学顕微鏡および電界放出型走査型電子顕微鏡(FE-SEM)にて観

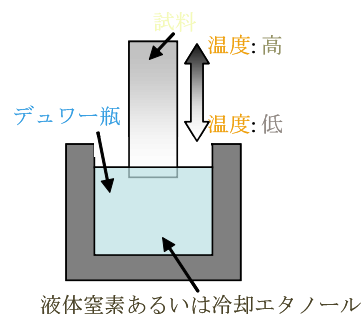


図 1 温度傾斜をつけたサブゼロ処理の方法。

察した。また、観察した微細組織における α' 相およびオーステナイト(γ)相の結晶方位分布を電子線後方散乱回折法(EBSD)にて測定した。

(2) ひずみ傾斜試料を用いた α' 相の成長挙動の解明

本研究では、予備実験として Fe-30wt.%Ni 合金におけるバタフライ状 α' 相のその場変形 EBSD 観察を行った。Fe-30wt.%Ni 合金インゴットより、40mm×15mm×1.5mmの板状試料を切出した。切出した板状試料に対し、1100℃で30分間のオーステナイト化処理に供し、水冷した。熱処理された試料から、その場 EBSD 観察用の引張試験片を放電加工機にて切出した。切出した引張試験片に対し、機械研磨および電解研磨を供した。電解研磨は Struers 社製の電解研磨装置を用いて、電解研磨液が AC2(Struers 社製)、温度 20℃、電圧 32V および研磨時間 20s の条件にて施した。そして、ゲージ長 4mm、幅 1mm および厚さ 0.3mm の形状を有するその場 EBSD 観察用の引張試験片を得た。その後、引張試験中における α' 相のその場 EBSD 観察は、EBSD と引張試験機が付随した FE-SEM を用いて行った。その際、その場 EBSD 観察における引張試験は、ひずみ速度 $1.1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ で室温にて行った。また、EBSD 観察は、公称全ひずみが 2.0%、4.6%、10.4% および 14.5% にて荷重負荷状態で引張試験を中断し、EBSD にて結晶方位測定を行った。

結果は後で述べるが、上述のその場 EBSD 観察において、変形によるひずみ量の増加に伴いバタフライ状 α' 相が成長することを見出した。そこで、本研究では、引張後の試験片に生じた真ひずみ分布とその領域における α' 相の微細組織を対応づけることによって、その場観察なしに α' 相成長挙動を議論できると考え、調査を行った。しかし、本手法では、①引張試験片内部での真ひずみ量の変化が小さい事、②変形によって試料表面の凹凸が大きくなってしまった事および③異なる真ひずみ量の間で明確な α' 相微細組織の差異を見出せなかった事の理由で α' 相成長挙動の議論ができなかった。

そこで、本研究では、試料内部にひずみ傾斜の形成が可能な手法の一つである摩擦摩耗法を用いて、次に述べる手順にてひずみ傾斜試料を作製した。Fe-30wt.%Ni 合金に対して 950℃で1時間のオーステナイト化処理を施し、水冷した。その後、作製した試料を用いてブロックオンディスク式摩耗試験機にて摩擦摩耗試験を行った。摩擦摩耗試験で用いた相手材は SKD11 である。摩擦摩耗試験が終了した後、摩耗表面近傍の微細組織を EBSD および X 線回折法(XRD)にて解析した。

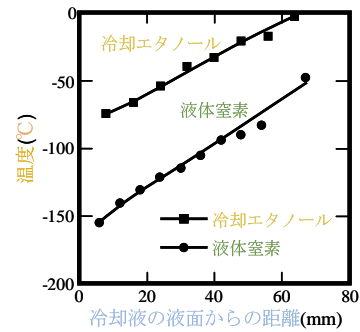


図2 サブゼロ処理にて生じる試料内の温度分布。

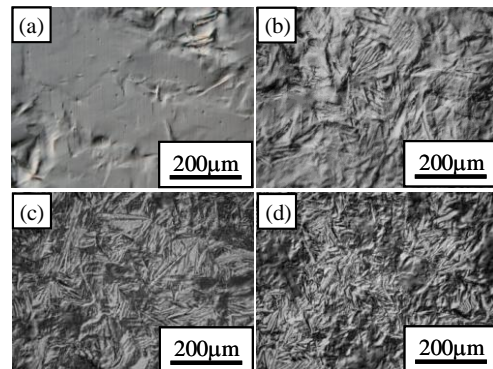


図3 サブゼロ処理にて形成した微細組織: 冷却温度 (a) -2.7℃, (b) -39.4℃, (c) -47.8℃, (d) -105.4℃。

4. 研究成果

(1) 温度傾斜試料を用いた α' 相の成長挙動の解明

図2は、サブゼロ処理中における試料内部の温度分布を示すグラフである。グラフの横軸は、液体窒素あるいは冷却エタノールの液面からの距離を示している。図2から分かるように、液体窒素および冷却エタノールを用いたサブゼロ処理によって試料内部に温度傾斜が生じた。ゆえに、本手法にて温度傾斜試料の作製に成功したことが分かる。なお、液体窒素を用いたサブゼロ処理および冷却エタノールを用いたサブゼロ処理との間において、同じ冷却温度で形成した微細組織に大きな差が生じなかった。それゆえ、以降の結果では、冷却温度のみを変数とし、両サブゼロ処理にて形成した微細組織をまとめて取り扱う。

図3は、各冷却温度にて形成した微細組織を示す光学顕微鏡写真である。温度が高い領域では、主に粗大な細長い α' 相が存在する。その形状から観察された α' 相の形態は、レンズ状またはバタフライ状であると考えられる。一方で、温度が低い領域では、主に微細で細長い α' 相が形成され、微量の粗大で細長い α' 相が混在していた。本研究では、観察された α' 相の形態を特定するため、EBSD にて α' 相の晶癖面を解析した。

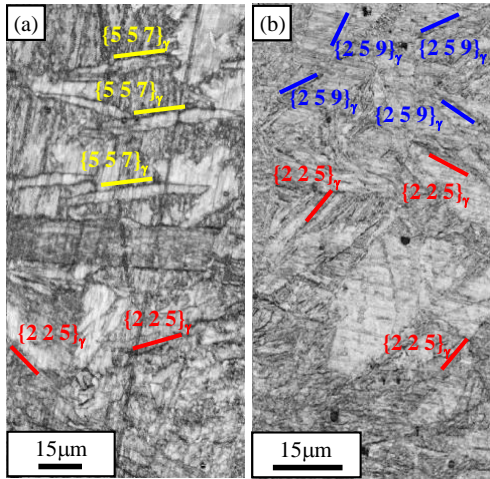


図 4 サブゼロ処理にて得られた微細組織の IQ マップ: 冷却温度(a) -2.7°C, (b) -105.4°C.

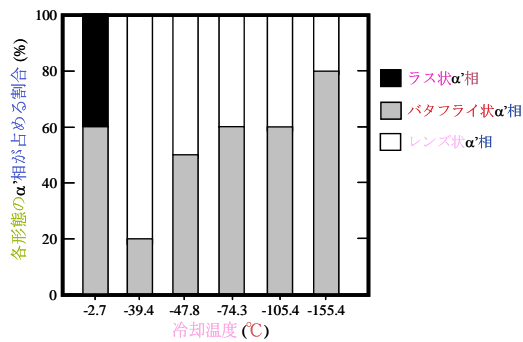


図 5 各冷却温度での alpha' 相総数に対するラス状 alpha' 相, バタフライ状 alpha' 相およびレンズ状 alpha' 相が占める割合.

図 4 は, 各冷却温度での微細組織に対し, EBSD 観察で得られたイメージオリエンター (IQ) マップを示す. 図 4 の IQ マップ中には, 各 alpha' 相の晶癖面トレースが示されている. この晶癖面解析の結果, 比較的溫度が高い領域では, ラス状およびバタフライ状 alpha' 相が観察された. この溫度に比べて低い溫度領域では, レンズ状 alpha' 相およびバタフライ状 alpha' 相が存在していた. この alpha' 相の形態変化は, 表 1 に示す Ms 点の低下に伴ったラス状, バタフライ状およびレンズ状への形態変化と一致している. なお, 観察された alpha' 相の晶癖面は, ラス状, バタフライ状およびレンズ状のいずれかの晶癖面を有しており, バタフライ状 alpha' 相とレンズ状 alpha' 相の中間的な晶癖面を有する alpha' 相は観察されなかった. すなわち, バタフライ状 alpha' 相からレンズ状 alpha' 相へと形態変化は, 不連続的に形態が変化している.

図 5 は, 各冷却溫度の領域に形成した alpha' 相の総数に対するラス状 alpha' 相, バタフライ状 alpha' 相およびレンズ状 alpha' 相が占める割合を示したグラフである. 図 5 から, 冷却溫度が高い -2.7°C の領域では, ラス状 alpha' 相とバタフライ状 alpha' 相が存在していた. 一方, 冷却溫度が -39.4°C

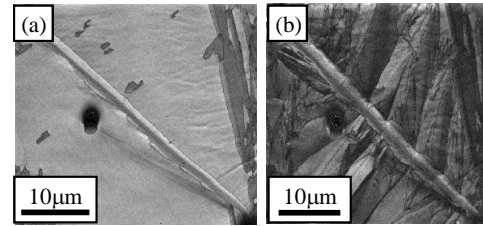


図 6 冷却エタノールを用いたサブゼロ処理によって成長したバタフライ状 alpha' 相: (a) サブゼロ処理前, (b) サブゼロ処理後 (-83°C).

の領域では, 少量のバタフライ状 alpha' 相と多量のレンズ状 alpha' 相が存在している. 冷却溫度がさらに低下すると, レンズ状 alpha' 相の割合は低下し, バタフライ状 alpha' 相が増加した. この冷却溫度の低下に伴うバタフライ状 alpha' 相割合の増加は, 表 1 に示す形態変化と異なる. これは, 各冷却溫度の領域におけるサブゼロ処理時の冷却速度が異なるためである.

冷却溫度が高い領域では, サブゼロ処理における冷却速度が遅い. そのため, 冷却溫度が -2.7°C の領域では, Ms 点直下でラス状あるいはバタフライ状 alpha' 相が生成および成長する. その際, Ms 点における相変態の駆動力が小さく, 生成する alpha' 相の数が少ないため, 比較的粗大な alpha' 相が形成する. さらに, 冷却溫度が低くなると, 残留 gamma 相にレンズ状 alpha' 相が形成する. その結果, 冷却溫度が比較的高い -39.4°C の領域では, レンズ状 alpha' 相の割合が高くなる. 一方で, 冷却溫度がより低い領域では, 冷却速度が速い. そのため, Ms 点での相変態の駆動力が大きく, Ms 点近傍で微細な alpha' 相が多数形成する. その結果, 残留 gamma 相の領域が少なくなるため, より低い溫度で形成するレンズ状 alpha' 相の割合が小さくなる. よって, 冷却溫度が -39.4°C 以下の領域では, 冷却溫度の低下に伴いバタフライ状 alpha' 相の割合が増加する.

以上の結果より, 溫度傾斜によって作製した試料内部の alpha' 相形態分布は, Ms 点および冷却速度に依存することが明らかとなった. しかしながら, 溫度傾斜試料を用いた実験では, 冷却中に新たな alpha' 相が多く形成しているため, 本来の目的である熱誘起による alpha' 相の成長挙動を議論することが困難である. そこで, 本研究では, 水冷された Fe-30wt.%Ni 合金内部に存在する任意のバタフライ状 alpha' 相に着目し, 着目したバタフライ状 alpha' 相におけるサブゼロ処理前後での形態変化について調査した. 図 6 は, -83°C の冷却エタノールを用いたサブゼロ処理前後におけるバタフライ状 alpha' 相の IQ マップを示している. サブゼロ処理によってバタフライ状 alpha' 相は成長した. また, サブゼロ処理による成長に伴って alpha'/gamma 界面における結晶方位関係は, ラス状あるいはバタフライ状 alpha' 相で報告されている Kurudjumov-Sachs (K-S) 関係あるいは Greninger-Troiano (G-T)

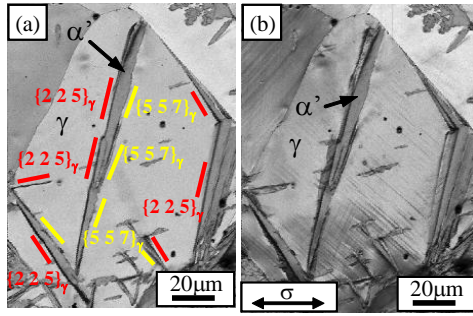


図7 引張試験前後におけるバタフライ状 α' 相のIQマップ: (a)引張試験前, (b)公称ひずみ10.4%.

関係から低温で生成する α' 相で主に報告されている Nishiyama-Wasserman(N-W)関係に変化した。よって、熱誘起によって成長した α' 相の特徴は、 α' 相成長中の温度に依存すると考えられる。

(2) ひずみ傾斜試料を用いた α' 相の成長挙動の解明

図7は、Fe-30wt.%Ni合金におけるバタフライ状 α' 相のその場変形EBSD観察にて得られたIQマップを示している。また、これらのIQマップ中には、 α' 相の晶癖面トレースが付記されている。水冷によって生成したバタフライ状 α' 相を有する試料に引張変形を供すると、 α' 相はひずみの増加に伴って $\{225\}_\gamma$ 晶癖面を有する界面から α' 相の幅方向に向けて成長している。また、未変形試料で $\{225\}_\gamma$ 晶癖面を有する界面が存在した部分には、 α' 相成長後にレンズ状 α' 相のミドリビに似た組織が形成された。

さらに、 α' 相周囲における結晶方位勾配の分布を調べた結果、 α' 相の成長に伴って α'/γ 界面近傍における γ 相の結晶方位勾配は小さくなった。これは、引張変形による転位のすべり系の増加に伴い、 α' 相中における変態ひずみの緩和機構が転位による多重すべりになるためである。一方で、 α' 相の成長に伴い、 α' 相内部には結晶方位勾配が形成した。これは、水冷による α' 相生成時に γ 相中の α'/γ 界面に堆積した単一および二重すべりによる転位が、引張変形による α' 相の成長によって、 α' 相内部に引継がれるためである。同時に、バタフライ状 α' 相と γ 相の結晶方位関係は、 α' 相の成長に伴いG-T関係からK-S関係に変化した。これは、引張変形中に緩和機構が転位による単一あるいは二重すべりから多重すべりに変化したため、水冷によって形成したバタフライ状 α' 相の性質が、ラス状 α' 相の性質に近づいたためである。以上の結果より、ひずみ誘起にて成長した α' 相の特徴は、成長中に生じる変態ひずみの緩和機構によって決定することが明らかとなった。

本研究では、引張後における試験片内部に生じた真ひずみ分布とその領域における α'

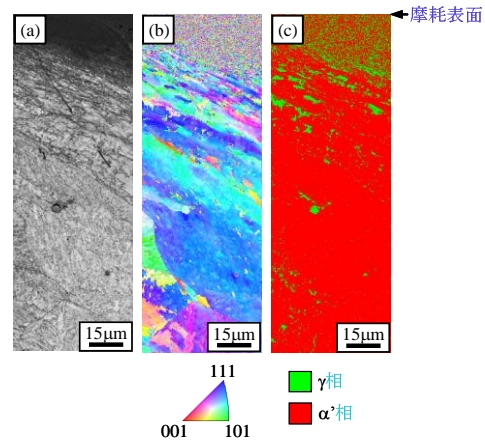


図8 摩擦摩耗試験を施したFe-30wt.%Ni合金における摩耗表面近傍の微細組織: (a)IQマップ, (b)IPFマップ, (c)相分布マップ.

相の微細組織を対応づけることによって α' 相成長挙動を議論できると考え、実験を遂行した。しかし、本手法では、①引張試験片内部での真ひずみ量の変化が小さい事、②変形によって試料表面の凹凸が大きくなってしまった事および③異なる真ひずみ量を有する領域の間で α' 相の微細組織に明確な差が生じない事といった問題が生じた。すなわち、本手法は、 α' 相成長挙動の議論に適していない。そこで、本研究では、水冷されたFe-30wt.%Ni合金に摩擦摩耗を施すことで摩耗表面近傍に大きなひずみ傾斜を持たせることを試みた。

図8は、Fe-30wt.%Ni合金に摩擦摩耗を施した試料における摩耗表面近傍のIQマップ、逆極点図(IPF)マップおよび相分布マップを示している。摩擦摩耗によって、摩耗表面近傍に大きなひずみ傾斜が生成した。また、図から、摩耗前の初期組織に比べて α' 相が多く分布しており、加工誘起マルテンサイト変態が生じていることが分かる。また、水冷によって得られるバタフライ状 α' 相も変形によってラス状 α' 相に近い組織に変化していた。この結果も、 α' 相の組織が成長中の温度に依存することを示唆している。しかしながら、水冷で形成したバタフライ状 α' 相の連続的な組織変化を観察することができなかった。よって、 α' 相の成長挙動を議論するために有効なひずみ傾斜試料の作製方法は、今後も検討を続けていく予定である。

さらに、本研究では、XRDを用いて摩耗表面直下における微細組織についても調査した。その結果、摩耗表面直下の組織は、摩耗中に逆変態が発生し、 γ 相単相で構成されていることが分かった。Fe-30wt.%Ni合金の逆変態温度は、約390°Cであることが知られている。一方で、本研究の摩擦摩耗試験にて生じる摩擦熱は230°Cであった。すなわち、この逆変態は、摩擦熱のみに起因する現象でなく、

摩擦中に生じた巨大なせん断ひずみによっても誘起された現象であると考えられる。よって、本研究を通して、Fe-Ni 合金への摩擦摩耗によって特異な相変態が発生することも見出した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

①佐藤尚, 三浦永理, 渡辺義見: “摩擦摩耗による特異な構造層の形成挙動”, 未定, 掲載決定. [査読有]

②H. Sato, E. M. Fujiwara and Y. Watanabe: “Formation behavior of wear-induced layer in Fe-Ni alloys”, *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, in press. [査読有]

③H. Sato, Y. Kubota, E. M. Fujiwara and Y. Watanabe: “Effects of phase transformation temperature on formation of wear-induced layer in Fe-Ni alloys”, *Materials Science Forum*, Vols. 654-656 (2010) pp. 1227-1230. [査読有]

④H. Sato, Y. Kubota, E. M. Fujiwara and Y. Watanabe: “Microstructure and mechanical properties of wear-induced layer”, *Proceedings book of ISSS 2009*, (2009) pp. 249-252. [査読有]

⑤佐藤尚, Stefan Zaeferrer, 三浦永理, 渡辺義見: “Fe-30%Ni 合金におけるバタフライマルテンサイト組織のその場変形 EBSD”, 階層的 3D/4D 解析によるミクロ組織の多様性の解明, (2009) pp. 99-104. [査読無]

⑥H. Sato, S. Zaeferrer and Y. Watanabe: “*In-situ* observation of Butterfly-type martensite in Fe-30mass%Ni alloy during tensile test using high-resolution EBSD”, *ISIJ International*, Vol. 49 (2009) pp. 1784-1791. [査読有]

[学会発表] (計 11 件)

①H. Sato, A. Nakashima, T. Tanaka, E. M. Fujiwara and Y. Watanabe: “Morphological distribution of martensite in Fe-Ni alloy cooled under graded temperature”, *International Conference on Martensitic Transformation*, 2011 年 9 月 4 日-9 日, 千里阪急ホテル. [Accepted]

②田中智幸, 佐藤尚, 三浦永理, 渡辺義見, 足立吉隆: “Fe-Ni 合金に生成するマルテンサイト相の 3 次元可視化”, 2011 年 3 月 1 日 (東日本大震災のため講演のみ中止).

③佐藤尚, 窪田優一, 三浦永理, 渡辺義見: “Fe-Ni 合金への摩擦摩耗によって生じる特異相変態挙動”, 日本鉄鋼協会・春期講演大会, 2011 年 3 月 1 日 (東日本大震災のため講演のみ中止).

④佐藤尚, 窪田優一, 三浦永理, 渡辺義見: “Fe-Ni 合金における摩擦変質層の形成挙動”, 第 20 回日本 MRS 学術シンポジウム, 2010 年 12 月 21 日, 横浜情報文化センター.

⑤佐藤尚, 西浦孝幸, 窪田優一, 三浦永理,

渡辺義見: “ショットピーニングおよび摩擦摩耗を施した Fe-Ni 合金における加工変質層の形成挙動”, 2010 年度 日本機械学会年次大会, 2010 年 9 月 6 日, 名古屋工業大学.

⑥H. Sato, T. Nishiura, Y. Kubota, E. M. Fujiwara and Y. Watanabe: “Formation behavior of deformation-induced layer in Fe-Ni alloy by sliding wear and shot peening”, *Materials Science and Engineering 2010*, 2010 年 8 月 25 日, Darmstadt, Germany.

⑦H. Sato, Y. Kubota, E. M. Fujiwara and Y. Watanabe: “Effects of phase transformation temperature on formation of wear-induced layer in Fe-Ni alloys”, *The 7th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing*, 2010 年 8 月 3 日, Cairns, Australia.

⑧佐藤尚, 窪田優一, 三浦永理, 渡辺義見: “Fe-Ni 合金における相変態温度が摩擦変質層に及ぼす影響”, 日本金属学会・春期講演大会, 2010 年 3 月 28 日, 筑波大学.

⑨窪田優一, 佐藤尚, 三浦永理, 渡辺義見: “Fe-30mass%Ni 合金の摩擦中における変態挙動と塑性変形挙動”, 日本金属学会・日本鉄鋼協会東海支部 第 19 回学生による材料フォーラム, 2009 年 11 月 13 日, 豊橋サイエンスコア.

⑩H. Sato, Y. Kubota, E. M. Fujiwara and Y. Watanabe: “Microstructure and mechanical property of wear-induced layer in Fe-Ni alloys”, *2nd Internal Symposium on Steel Science 2009 (ISSS2009)*, 2009 年 10 月 21 日-24 日, 関西セミナーハウス.

⑪佐藤尚, Stefan Zaeferrer, 渡辺義見: “Fe-30%Ni 合金におけるバタフライマルテンサイト組織のその場変形 EBSD 観察”, 日本鉄鋼協会・秋期講演大会・階層的 3D/4D 解析によるミクロ組織の多様性の解明, 2009 年 9 月 14 日, 京都大学.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 加工による相変態を利用した傾斜機能材料の製造方法

発明者: 佐藤尚, 渡辺義見, 三浦永理

権利者: 名古屋工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2010-80243

出願年月日: 2010 年 3 月 31 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 尚 (SATO Hisashi)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 50402649