

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2017～2019
課題番号：17H01903
研究課題名(和文) アルミニウム展伸材の高度循環利用に資するビーム走査型レーザー発光分析装置の開発

研究課題名(英文) Beam-scanning laser-induced plasma atomic emission spectrometry for advanced recycling of aluminum structural materials

研究代表者
我妻 和明 (Wagatsuma, Kazuaki)
東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：30158597
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：アルミニウム素材リサイクルの一つの理想型である"展伸材to展伸材"の再生利用を実現するために、展伸材の品番別選別のための含有元素情報と、リサイクル材の品位評価のための重要指標である粗大金属間化合物の含有量を同時に評価することができる、レーザー誘起プラズマ発光分析装置の実用化を目的とした。研究成果として、元素含有量の情報に基づくアルミニウム合金の品番選別とその粗大介在物の分布を評価することができる装置開発を行い、実際分析への適用が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アルミニウムスクラップ素材の含有合金元素に注目した、製品品番毎の選別は、資源循環型社会の構築、金属資源の高度循環利用において特に重要となっている。本研究で開発したレーザー誘起プラズマ発光分析装置は、品番により異なる合金元素の種類や含有量を高精度かつ短時間で判定できる能力を持つため、アルミニウム素材の選別現場において運用することが可能である。その分析情報は、アルミニウム素材の高度選別に関する課題解決に資するものである。

研究成果の概要(英文)：In order to realize the reuse of "wrought material to wrought material", which is one of the ideal types of aluminum material recycling, we have to obtain the chemical composition of aluminum alloys as well as the kinds and amounts of inclusion particles in the recycled materials. The objective of this research is to put into practical use a laser-induced plasma emission spectrometer which can evaluate such analytical information simultaneously and rapidly. This study has developed a device that can identify the product number of aluminum alloys based on the content of alloyed elements and further evaluate the distribution of coarse inclusions in them, and it has become possible to apply it to actual analysis.

研究分野：材料分析科学

キーワード：リサイクル アルミニウム素材 品番毎選別 レーザー誘起プラズマ発光分析

1. 研究開始当初の背景

アルミニウム素材のリサイクル過程においては、飲料缶のリサイクルのように既に実現されているものもあるが、展伸材の個別リサイクルは未だ未完成の課題である。その実現のためには、分別—物理選別—化学組成選別において、特に合金元素の差異を検出するために化学組成選別の高度化が要求される。この用途には、大量の回収素材に対してオンライン応答を可能とする高速分析法が必要となる。また再生材に含まれる金属間化合物の粒度や個数の評価も重要である。現行分析法をこの分析対象にそのまま適用するには困難であるため新たな分析・解析技術が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、アルミニウム展伸材の迅速・高精度分別を可能とするために、その平均元素組成と金属間化合物に起因する組成変動を同時に検出できるビーム走査型レーザー誘起プラズマ発光分析装置 (laser-induced breakdown - optical emission spectrometry, LIBS) を設計・製作する。分析対象はアルミニウム合金に添加される元素群である、銅、シリコン、マグネシウム、亜鉛等であり、同時に不純物成分として鉄、チタンにも注目する。組成範囲として 0.1-数 10% の元素含有量を変動係数 5% 以内で、分析時間 60s 以内で定量できるものを開発する。

3. 研究の方法

Fig.1 は組み立てたレーザー誘起プラズマ発光分光装置のブロック図である。

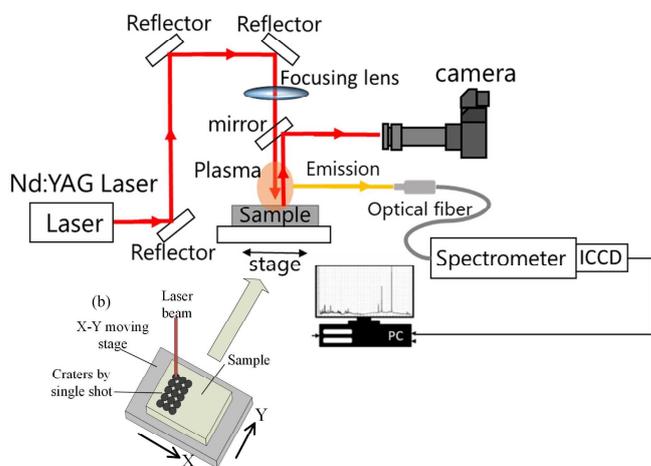


Fig. 1 Block diagram of a LIBS apparatus employed in this study and a schematic illustration of laser scanning (b).

(1) Q-switched Nd:YAG レーザー (SSL-330-50、EKSPLA) は、パルス幅約 150 ps、出力波長 1064 nm (基本周波数)、繰り返し周波数 50Hz、約 20 mJ /パルスのレーザー出力で使用した。パルスレーザーのエネルギーは、熱センサーを備えたレーザー用のパワーメーター (3A-P、Ophir Photonics) を使用して測定した。レーザービームは、焦点距離 150mm の平凸レンズでサンプル表面に集光した。光学系に倍率 50 - 500 倍のロングズームレンズ

(VH-Z50L、日本キーエンス) を搭載したデジタル一眼カメラ (EOS KISS X9 L1855KBK、キヤノン) を光学系に組み込んでレーザー照射中のサンプル表面を観察した。

(2) プラズマ発光は、光ファイバーの入口ポートに集束し分光器の入口スリットに集光した。Czerny-Turner 型モノクロメーター (MS7504i、SOL Instruments Ltd) により 3600 本/mm の格子で分光した。実効分解能は約 0.02nm である。分光された光を増幅器付き電荷結合検出器 (ICCD) (DH734-18F-03、Andor) によってスペクトルとして検出した。すべての測定は、雰囲気ガスの流れは制御せず大気雰囲気で行った。

(3) 7 つの合金元素 (Si、Fe、Cu、Mn、Mg、Cr、および Zn) の検量関係 (発光強度と含有量

の関係)を調べるために、アルミニウム合金(日本アルミニウム協会)の9つの認定標準物質(CRM)を準備した。また、市販のAl合金サンプルの6つのサンプルを使用して、LIBSの測定パラメーターの最適化と分析性能の評価を行った。比較のために、これらのサンプルの化学組成は、標準溶液の外部検量線法を使用した誘導結合プラズマ分光法(Arcos MV130、SPECTRO Analytical Instruments)によって決定した。さらに、Al材のスクラップから溶解したインゴット試料を作製し、Al組織に含まれる介在物の種類と含有量を測定した。すべての測定は、特別な試料予備処理を行うことなく、エメリーペーパーで研磨するなどの前処理を行わずに実行した。

(4)システムコントローラー(SHOT-304GS、SIGMA Koki)で制御されたモーター駆動のXYZステージ(SGSP26-200S、SIGMA Koki)を使用して、試料表面に対して任意の位置にレーザー照射を行った。まず、X-Y-ZステージをZ方向(高さ方向)に調整し、レーザーの照射位置を試料表面の目標位置に合わせた。次に、合金化元素の検量線を得るために、ポイントを段階的に動かしながら、特定の数のレーザーショットを測定ポイントに照射した。さらに、介在物の面方向分布を得るために、XとY方向に移動させて発光強度の変化を記録した。

4. 研究成果

(1) 市販Al合金タイプの選別

Table 1 Analytical results of several commercial Al alloy determined by LIBS

Test specimen	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
A1050	<0.19	<0.063	<0.040	ND	ND	ND ^{*)}
A1100	<0.19	0.16±0.02	ND	ND	ND	ND
A2017	0.47±0.04	3.6±0.1	0.58±0.04	0.60±0.1	<0.021	ND
A2024	ND	3.8±0.2	0.35±0.02	1.2±0.2	ND	ND
A5052	<0.19	<0.069	0.070±0.02	2.3±0.1	0.20±0.01	ND
A5083	<0.19	<0.069	0.53±0.04	4.1±0.2	0.14±0.03	ND
A6061	0.43±0.02	0.20±0.01	0.073±0.03	1.1±0.1	0.18±0.01	ND

*) Signal not detected

Table 2 Analytical results of several commercial Al alloy determined by ICP-OES

Test specimen	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
A1050	<0.05	<0.005	<0.001	<0.001	<0.003	0.006
A1100	<0.05	0.14	<0.001	<0.001	<0.003	<0.002
A2017	0.47-0.48	3.6-3.7	0.58-0.59	0.52	0.017	0.020
A2024	<0.05	3.9	0.39	1.3	<0.003	0.006
A5052	<0.05	0.053-0.054	0.025-0.028	2.2	0.17-0.19	0.015
A5083	0.11-0.12	0.041	0.56	4.3	0.11	0.006
A6061	0.41-0.43	0.26-0.27	0.041-0.042	0.94-0.95	0.17	0.012-0.013

Table 1は、A1050、A1100、A2017、A2024、A5052、A5083、およびA6061のラベルが付いた7つの市販のAl合金の合金組成の分析結果をまとめたものである。さらに、これらの合金サンプルもICP-OESによって分析され、2つの個別測定の分析結果をTable 2に示す。

LIBSは、比較的高い精度(低い誤差範囲)で分析結果が得られた。LIBSとICP-OESを比較すると、分析値は互いに類似しているが、いくつかの値は0.01質量%の桁で異なることがわかる。これは、ICP-OESの検出感度が、合金元素の濃度が低い場合にLIBSの検出感度よりも

優れているためである。特に、LIBSは、低含有量のため、すべての合金試料についてZnの含有量は定量下限以下であった。

7つのAl合金サンプルの合金組成に基づいて、対応するタイプのAl合金への分類を試みた。現在、日本では68種類のAl合金が製品化されており、JISではその化学組成を標準化している(JIS H4000、2014)。一例として、A5052でラベル付けられたAl合金の元素情報による選

別を説明する。Fig. 2は、この手順のフローチャートを示している。まず、A5052で最も含有量の多い元素であるMgの分析結果と、2.3質量%の基準値とを比較し、合金元素量順に同様の比較を行い、合金を絞り込む。Table 3は、本法で得られたAl合金試料の分類結果を示す。

A1100、A2017、A5052、およびA6061のラベルが付いた試料では、対応する合金タイプに完全に選別が可能であった。A1050と表示された試料、ほぼ純粋なAlであるため、本質的に1種類のAl合金に分類することは困難であった。さらに、LIBSの結果は、A2024でラベル付けされたサンプルがA2024またはA2124のいずれかの合金タイプであることを示した。この不確実性は、LIBSの精度と正確さに起因するのではなく、A2024とA2124の間の化学組成の類似性に起因している。それらの組成の唯一の違いはSi含有量である（A2024では0-0.50質量%、A2124では0-0.20質量%）（JIS H4000、2014）であり、Si含有量を品番選別の指標とすることは難しい。また、ICP-OESの分析値を用いて同様の選別を行ったところ、LIBSと同様の結論が得られた。これらの結果から、LIBSによる選別は概ねAl合金タイプの分類に適用できることが明らかとなった。

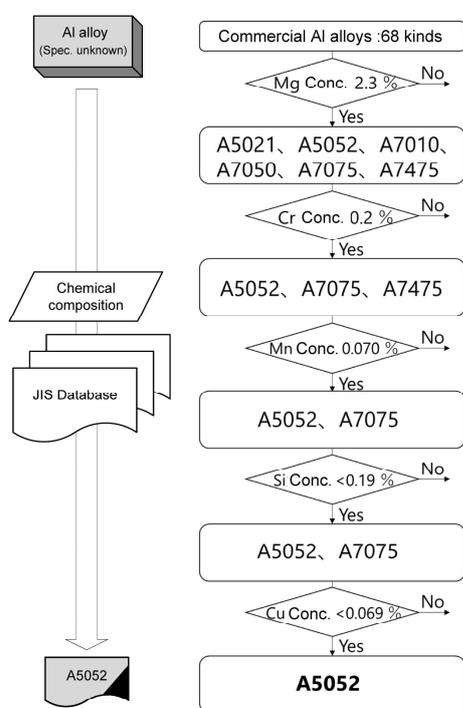


Table 3 Sorting of several commercial Al alloys based on the analytical result of LIBS and ICP-OES

Test specimen	Alloy type selected by LIBS	Alloy type selected by ICP-OES
A1050	A1N90 or A1085 or A1080 or A1070 or A1060 or A1050 or A1100 or A1200 or A1230	A1N99 or A1N90 or A1080 or A1070 or A1060 or A1050 or A1200 or A1230
A1100	A1100	A1100
A2017	A2017	A2017
A2024	A2024 or A2124	A2024 or A2124
A5052	A5052	A5052
A5083	A5083 or A5086 or A5183	A5083 or A5086 or A5183
A5061	A5061	A5061

Fig. 2 Flow chart for element-based sorting of a type of commercial Al alloy labeled with A5052.

(2) 走査 LIBS 法による Al リサイクル材の介在物 2次元マッピング

リサイクル素材を再溶解した Al インゴット試料の表面をあらかじめ走査電頭-X線測定により調べたところ、Fe 酸化物と考えられる介在物粒子が見いだされた。そこで、走査 LIBS 法によりその2次元分布について測定を試みた。分析線として最も強度の高い Fe I 358.119-nm 線を選択し、レーザーショットごとのアブレーション量の変動を補正するため、内部標準として Cr I 357.869-nm 線を選択した。Cr は Al 素材の合金元素に由来するため、その含有量は試料全体でほぼ一定であると考えられます。一方、Fe はほとんど不純物元素として含まれているため、サンプル表面で不均一な分布を示し、Fe 介在物と Fe 発光線の強度には相関がある。

強度比、Fe I 358.119 / Cr I 357.869 の2次元マッピングを検討したところ、供試試料中に存

在する 100 μ m オーダーの Fe 介在物は、LIBS をスキャンして取得した元素マップから正確に特定できることがわかった。測定した Fe 発光線の強度等高線プロットに基づいて、5.0 x 4.0 mm の広い範囲にわたるサンプル表面上の Fe 介在物の分布を調査した。異なる 3 カ所の測定領域に対して得られた結果を Fig. 3 に示す。これから直裁に言える情報としては、Fe 介在物の分布は非常に不均一であることがわかる。Fe は介在物粒子の形で含まれるだけでなく Al 合金のマトリックス組織に均一に分布するため、その個数や粒径を定量的に求めるためには、介在物粒子以外の Fe からの寄与を評価する必要がある。この目的のために、Fe の含有量が 0.12mass % である Al 金属標準物質を用いて、Fe 発光線の平均強度とその標準偏差を測定し、0.3511 と 0.1151 の値を得た。本研究では、介在物検出の閾値として、平均発光強度と標準偏差の定数倍の合計として定義した。Table 4 は、エラー範囲が 3 σ 、4 σ 、5 σ に設定された場合の、3 つの異なる観察領域のマトリックス構造と区別できる Fe 介在物粒子の数をまとめたものである。当然のことながら、エラー範囲が広がるほど、検出される粒子数は少なくなる。ただし、この結果は、測定値の統計的な偏差ではなく、小さな粒子を検出できないことに起因している。

Al 素材のリサイクルプロセスでは、許容できる介在物の種類と量は、リサイクルする実際の製品グループによって異なる。したがって、Al 材料の種類ごとに具体的な閾値を決定する必要がある。特に、プレス、絞り、曲げなどの製造条件が厳しい Al 合金の場合、介在物の許容量と粒度を厳しく管理する必要がある。

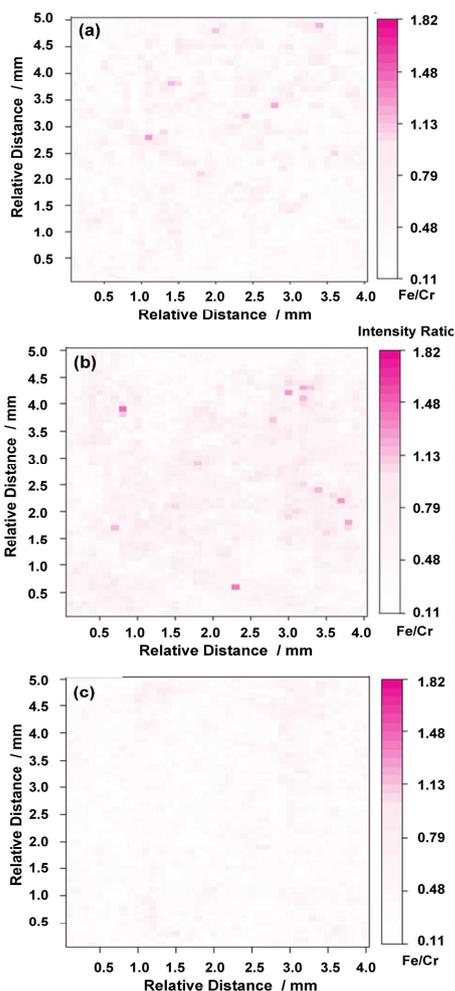


Table 4 The number of Fe and Si inclusions in 4.0 x 5.0-mm areas of observation (a), (b), and (c) under different discrimination conditions

Error Range	Count of Fe inclusions			Count of Si inclusions		
	Field of View			Field of View		
	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
3 σ	110	315	14	20	4	28
4 σ	47	147	4	11	0	9
5 σ	26	55	1	7	0	4

Fig. 3 Intensity contour profiles of the Fe I 358.119-nm line in three different areas of 5 x 4 mm.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 S. Nakahata, S. Kashiwakura, K. Wagatsuma	4. 巻 49
2. 論文標題 Quantitative distribution analysis of alumina inclusion particles in ferritic stainless steels by using laser-induced breakdown optical emission spectrometry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Surf. Interface Anal.	6. 最初と最後の頁 740-749
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） DOI: 10.1002/sia.621	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 X. Zhang, S. Kashiwakura, K. Wagatsuma	4. 巻 33
2. 論文標題 Fundamental Study on Ablation Sampling of Fe-based Binary Alloys in Laser-induced Breakdown Optical Emission Spectrometry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Anal. Sci.	6. 最初と最後の頁 343-349
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2116/analsci.33.343	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中畑 翔子、柏倉 俊介、我妻 和明	4. 巻 104
2. 論文標題 走査レーザー誘起プラズマ発光分析法による化成処理アルミニウム合金の表面被膜の面方向分析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 358-362
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） http://dx.doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 S. Kashiwakura, K. Wagatsuma	4. 巻 58
2. 論文標題 The optimization of partial-least-square regression for determination of manganese in low-alloy steel by single-shot laser-induced breakdown spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISIJ Int.	6. 最初と最後の頁 1705-1710
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Matsuda, K. Wagatsuma	4. 巻 59
2. 論文標題 Optimization of measuring parameters for two-dimensional elemental mapping in laser-induced breakdown optical emission spectrometry using 1-kHz Q-switched Nd:YAG laser	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ISIJ Int.	6. 最初と最後の頁 1838-1845
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-088	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Wagatsuma	4. 巻 55
2. 論文標題 Chracteristics of the transient signal from pulsed glow dischaege plasma for atomic emission analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl. Spectrsc. Rev.	6. 最初と最後の頁 76-86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1080/05704928.2019.1588742	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Matsuda, S. Kashiwakura, K. Wagatsuma	4. 巻 153
2. 論文標題 Statistical analysis on the distribution of alumina inclusion particles in ferritic stainless steels in laser-induced breakdown spectrometry using 1-kHz Q-switched Nd:YAG laser	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microchemical J.	6. 最初と最後の頁 104400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.microc.2019.104400	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 X. Zhang, K. Wagatsuma	4. 巻 60
2. 論文標題 Optimization of Discharge Parameters for a Glow Discharge Emission Spectrograph with Two-dimensional Spatial Resolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISIJ Int.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-205	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. KASHIWAKURA, K. WAGATSUMA	4. 巻 60
2. 論文標題 Selection of Atomic Emission Lines on the Mutual Identification of Austenitic Stainless Steels with a Combination of Laser-induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) and Partial-least-square Regression(PLSR)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISIJ Int.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-5490.2355	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件(うち招待講演 3件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 T. Matsuda, S. Kashiwakura, K. Wagatsuma
2. 発表標題 Spatial resolution of two-dimensional elemental mapping using scanning laser beam in laser-induced plasma optical emission spectrometry
3. 学会等名 6th. Global Conference on Materials Science and Engineering (CMSE2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中畑 翔子、柏倉 俊介、我妻 和明
2. 発表標題 走査レーザー誘起プラズマ発光分析法による化成処理アルミニウム合金の表面被膜の面方向分析
3. 学会等名 日本分析化学会 第66回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松田 哲彦、我妻 和明、柏倉 俊介
2. 発表標題 二次元走査型レーザー誘起プラズマ発光分析装置による面方向分解能の評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第174回秋季講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 張 心月、我妻 和明
2. 発表標題 パルス動作6.78MHzグロー放電プラズマの励起特性
3. 学会等名 日本分析化学会 第77回分析化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 張 心月、我妻 和明
2. 発表標題 パルス動作6.78MHzグロー放電プラズマの励起特性 - デューティ比の影響 -
3. 学会等名 日本分析化学会 第66回年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松田 哲彦、柏倉 俊介、我妻 和明
2. 発表標題 1-kHz Nd:YAGレーザーを用いたレーザー誘起プラズマ発光分析の面方向情報分解能
3. 学会等名 日本学術振興会製鋼第19委員会「製鋼計測化学」研究会第75回会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 張心月、我妻和明
2. 発表標題 三次元空間分解能を有するグロー放電発光分析装置の開発 - 放電パラメータの検討 -
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第175回春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 張心月、我妻和明
2. 発表標題 三次元空間分解能を有するグロー放電発光分析装置の開発-空間分解能の決定
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松田哲彦、柏倉俊介、我妻和明
2. 発表標題 1kHz Nd:YAGレーザーを用いたレーザー誘起プラズマ発光分析の面方向分解能
3. 学会等名 日本学術振興会製鋼第19委員会、第75回製鋼計測化学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 張心月、我妻和明
2. 発表標題 三次元空間分解能を有するグロー放電発光分析装置の開発
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 府金裕亮、我妻和明、柏倉俊介
2. 発表標題 可変焦点集光系を用いたレーザー誘起プラズマ発光分析法の発光位置制御
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松田哲彦、柏倉俊介、我妻和明
2. 発表標題 1kHz Nd:YAGレーザーを用いた走査レーザー誘起プラズマ発光分析法によるフェライト系ステンレス鋼中のアルミナ介在物の分布解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 我妻和明
2. 発表標題 走査レーザー誘起プラズマ発光分析法による鉄鋼材料中の介在物分布解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会北海道支部 湯川記念講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 府金裕亮、柏倉俊介、我妻和明
2. 発表標題 アルミニウム材料の選別と介在物粒子の検出へのLIBSの適用
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 我妻和明、松田哲彦、柏倉俊介
2. 発表標題 1kHzNd:YAGレーザーを用いた走査レーザー誘起プラズマ発光分析法によるフェライト系ステンレス鋼中のアルミナ介在物の分布解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Matsuda, S. Kashiwakura, K. Wagatsuma
2. 発表標題 Spatial resolution of two-dimensional elemental mapping using scanning laser beam in laser-induced plasma optical emission spectrometry
3. 学会等名 6th Global Conference on Materials Science and Engineering (CMSE2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 X. Zhang, K. Wagatsuma
2. 発表標題 Development of glow discharge optical emission spectrometer with two-dimensional spatial resolution - Setting of controlling parameters for ICCD detector
3. 学会等名 ICASI2018 & CCATM2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Wagatsuma, S. Nakahata, S. Kashiwakura
2. 発表標題 Two-dimensional Observation of Surface Layer Formed on Chemically-treated Aluminum Alloy Using Laser-induced Plasma Optical Emission Spectrometry
3. 学会等名 Analytix2019, Singapore (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Wagatsuma, T. Matsuda, S. Kashiwakura
2. 発表標題 Lateral resolution in beam-scanning laser-induced breakdown spectrometry by using 1-kHz-class Nd:YAG laser
3. 学会等名 CETAS2019, Dusseldorf (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Fugane, S. Kashiwakura, K. Wagatsuma
2. 発表標題 Application of LIBS to sorting of aluminum materials and detection of the inclusion particles
3. 学会等名 3rd Asian Symposium on Laser Induced Breakdown Spectroscopy '19 (ASLIBS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Imashuku, H. Taguchi, K. Wagatsuma
2. 発表標題 LIBS mapping of lithium for electrodes of lithium-ion battery
3. 学会等名 XLI Colloquium Spectroscopicum Internationale (CSIXLI) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://wagatsuma.imr.tohoku.ac.jp

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考