

令和 4 年 5 月 18 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02477

研究課題名（和文）高温加工プロセスの非破壊センシングを実現する反射率援用超音波サーモメトリの開発

研究課題名（英文）New Ultrasonic Thermometry Based on Reflectivity Measurements and Its Application to Materials Processing Monitoring at High Temperatures

研究代表者

井原 郁夫（Ihara, Ikuo）

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：80203280

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、加熱材料の温度プロファイルならびに界面の材料特性・挙動をリアルタイムで計測するための新規な超音波法の創成を目指すものである。まず、高温場のロバスト超音波計測システムを構築し、それに基づく加熱界面と内部の温度プロファイリング法を新たに開発した。次いで、高温場のマルチチャンネル超音波計測システムを構築し、これを駆使した鋳造プロセスの時間・空間モニタリングに取り組み、その有用性を実証した。また、厚板材の反射率を活用した裏面状態モニタリング手法を提案し、その有効性を検証した。このように、高温場のリアルタイム定量的材料モニタリングに資する超音波法が創成され、その有用性が実証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、これまで困難とされていた高温場での超音波モニタリング、特に界面や材料内部の温度情報の定量評価を可能にすることにその学術的意義がある。また、その手法を活用することで、これまで未開拓であった各種材料加工プロセスの見える化を実現するもので、幅広い分野における材料加工のDX化を加速させるといふ点で社会的意義が大きいと考える。

研究成果の概要（英文）：This work aims to create a new ultrasonic method for measuring the temperature profile and material properties of the inside, surface and interface of heated materials. First, a robust ultrasonic measurement system suitable for high temperature fields is constructed and a new temperature profiling method for the surface and the inside of a heated material is then developed. Next, a multi-channel ultrasonic measurement system for high temperatures is newly developed. The system is applied to real-time monitoring of the casting process installed as a feasibility experiment at a laboratory and its usefulness is then demonstrated. In addition, a backside condition monitoring method that utilizes the reflectance of thick plate materials is proposed and its effectiveness is also verified. Thus, the ultrasonic method that contributes to real-time quantitative monitoring for materials in high temperature fields has been created and its usefulness has successfully demonstrated.

研究分野：機械工学

キーワード：超音波計測 非破壊計測 超音波サーモメトリ 高温材料 温度プロファイル

1. 研究開始当初の背景

工学、工業の幅広い分野において、加熱状態にある物体内部の温度プロファイルを非破壊的、定量的かつリアルタイムで測定したいというニーズは枚挙に暇がない。例えば、金属、プラスチック、セラミックなどの製造・加工プロセスは高温場で行われており、その品質管理のためには高精度の温度計測とそれに基づくプロセス制御が不可欠である。例えば、アルミニウムのダイカストプロセスのように液相/固相プロセスが混在する高温加工においては、加工物（アルミニウム）はもちろんのこと型材（合金鋼）の内部温度分布を定量的に把握することが、そのプロセスの最適制御を実現するためのキーポイントとなる。しかし、現状の温度計測手法（熱電対法、赤外線法）では、加工物や型材内部の温度プロファイルをモニタリングすることは不可能であり、型材内壁面の温度でさえ把握することが困難である。そのようなニーズに応える手法として、ロバストな超音波サーモメトリ（超音波の温度依存性を利用した温度計測法）の実現が期待されていた。

2. 研究の目的

従来の超音波サーモメトリの材料加工プロセスへの適用における最大の問題は、超音波パルスエコー計測に供される反射面の境界条件（加工プロセスに依存する熱的、力学的、音響的境界条件）が高温加工に起因して不安定となるため当該計測に重大な悪影響を及ぼすことである。本研究計画では、この問題を克服するために、超音波反射率の界面敏感性に着目し、これを新たな指標として導入する。具体的には、非定常加熱状態の材料界面の反射率を測定し、これを指標とした逆解析を実施することで界面の不安定性の影響を軽減し、実用レベルの高精度温度プロファイリングを実現する。同時に、上記逆解析を駆使することで界面近傍の被加工材料の特性評価（弾性率、密度など）とその挙動（被加工材の接触状態、剥離状態、反応層の有無など）の定量評価が可能となるので、これを効果的に活用したロバストかつ高機能な高温モニタリング手法の開発を目指す。これを遂行すべく、まず、高温場での使用に耐える、ロバストで多機能な超音波計測システムを新たに開発する。

3. 研究の方法

(1) まず、従来の超音波温度計測法の問題（加熱面の状態変化に起因する測定結果の不安定性）を定量的に把握し、それを克服するための対策を講じる。具体的には、(i) 従来法の改良、(ii) 反射率の活用、(iii) ハードとソフトの両面での対応策と検証実験、を行う。

(2) 次に、温度プロファイリングの精度向上と加熱面の定量的材料評価に関して具体策を検討し、対策を講じる。具体的には、(i) 逆問題設定と解析法の開発、(ii) 計測システムの構築、を行う。

(3) 前年度までに得られた知見を基に、開発した計測システムを高温材料加工プロセス（熱湯、低融点合金、樹脂、アルミニウムなどのモデル鋳造）に適用し、その実用性と適用限界を見極める。（諸般の事情につき、アルミニウムについては現段階では未実施であるが、令和4年6月以降に環境が整い次第、実施する予定）

4. 研究成果

(1) 超音波パルスエコー法における対象物裏面状態の影響

超音波パルスエコー法における測定対象物裏面の付着物（薄層）の影響について検討した。反射率の波数スペクトラムに基づく解析により裏面からのパルスエコー波形を理論的に予測するとともに、FEM解析結果との比較からその妥当性を検討した。また、薄層による反射波形の崩れがエコー伝播時間とその伝播時間に基づく温度同定値に及ぼす影響を定量的に明らかにした。

具体例を挙げると、図1のような超音波伝達系の反射率は次式で与えられる。

$$R_{123} = \frac{(Z_1/Z_3 - 1) + j(Z_1/Z_2 - Z_2/Z_3) \tan(k_2 d)}{(Z_1/Z_3 + 1) + j(Z_1/Z_2 + Z_2/Z_3) \tan(k_2 d)}$$

ここで、 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 はそれぞれ媒質1、2、3の音響インピーダンス、媒質2は厚さ d 、波数 k_2 の薄層である。薄層がない場合の材料裏面における反射率は $R_{13} = (Z_3 - Z_1)/(Z_3 + Z_1)$ で与えられる。ここで、薄層がある場合の超音波エコーの振幅スペクトル φ_1 は、薄層がない場合の振幅スペクトル φ_0 を用いて $\varphi_1 = (|R_{123}|/R_{13})\varphi_0$ と表される。また、薄層がある場合の超音波エコーの位相スペクトル ω_1 は、薄層がない場合の位相スペクトル ω_0 を用いて $\omega_1 = \omega_0 + \arg(R_{123})$ で表される。さらに、繰り返しエコーの振幅スペクトル φ_2 および位相スペクトル ω_2 は同様に

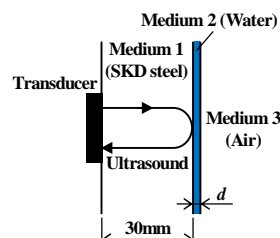


図1 薄層を有する超音波伝達系

$\varphi_2 = (|R_{123}|^2/R_{13})\varphi_0$, $\omega_2 = \omega_0 + 2\arg(R_{123})$ として表される。これらに対して逆フーリエ変換を適用することで、薄層がある場合のエコー波形(1st エコー)および繰り返しエコー波形(2nd エコー)を予測できることを数値シミュレーションならびに実験により実証した。これに基づいて薄層の厚さに対する反射波形の変化を理論予測し、さらにその波形の歪みが超音波伝播時間および温度同定値に及ぼす影響を調べ(図2) 対応策を提案した。

(2) 超音波パルスエコー法による裏面加熱材の状態モニタリング

裏面が加熱される材料の状態モニタリングへの超音波パルスエコー法の適用について基礎的な検討を行った。具体的には、裏面に液体が付着する場合を想定し、その液体が縦波または横波を用いたパルスエコー計測に及ぼす影響について調べた。加熱材を用いた実験により、縦波を用いることで裏面の液体接触状態が、横波を用いることでロバストな材料音速測定ができることが確認された。これらの結果に基づいて、裏面で生じるライデンフロスト現象への超音波法の適用について多面的に検討した。その結果、液体の付着やライデンフロスト現象により裏面の状態が不規則かつ急激に変化する状況下では、横波を用いることで伝播時間測定や超音波サーモメトリによる温度同定のロバスト化が期待できることがわかった(図3)。これに対し、縦波を用いることで裏面の状態変化を高感度で検出できる可能性があることがわかった。

(3) 空間分解能と時間応答性に優れた新しい超音波サーモメトリの開発

これまでの超音波サーモメトリでは差分法解析を用いているために、その安定条件によって温度分布の空間分解能が制限され、また超音波信号のノイズの影響が解析値に顕著に現れるという問題がある。本研究では、これらの課題の克服のため、新たな温度分布解析手法を導入し、温度プロファイリングの安定性と空間分解能の向上をはかった。さらに、この手法を微小物体の内部温度測定に適用し、その有効性を検証した。

まず、波形収録の高速化(時間刻み幅 τ の短時間化)と平均化によるSN比向上を両立させるために、超音波パルスエコー計測において波形取得とそれ以外の処理を分けて並列化し、波形取得においては時間移動平均をとることを提案し、その有効性を実証した。

次いで、超音波サーモメトリの抜本的改善に取り組んだ。これまでの超音波サーモメトリでの熱伝導解析では前述のFTCSスキームが用いられているため、加熱面温度の同定値の精度は超音波伝播時間測定のばらつきに強く影響され、その影響は加熱面から内部に渡って広範囲の温度分布に及ぶという問題が避けられなかった。この問題を克服するために、陰解法の一つであるCrank-Nicolson法を用いた温度解析手法を超音波サーモメトリに導入した。

この手法の有効性を実証するために、片面加熱材(SKD材)の温度計測実験を行った。図4はSKD裏面(加熱面)の加熱前における温度計測結果を示す。時間経過に伴う加熱面温度の変動が、提案手法では従来手法に比べ小さくなっている。図5は加熱から80ミリ秒後のSKD内の温度分布の様子を示す。この手法は従来手法に比べ空間分解能が格段に向上している。また、従来手法では加熱面近傍における温度同定値の大きな変動が見られるが、提案手法では変動は各段に小さく、安定した温度分布が得られている。

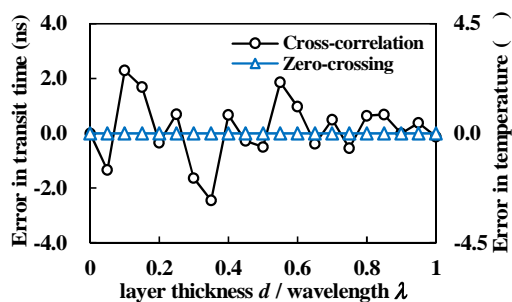


図2 薄層が超音波伝播時間および温度同定値に及ぼす影響

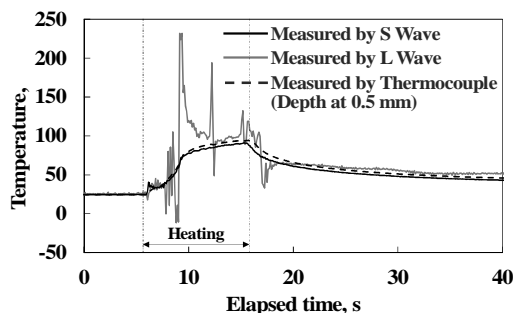


図3 加熱材料裏面のライデンフロスト現象下での超音波サーモメトリの適用結果

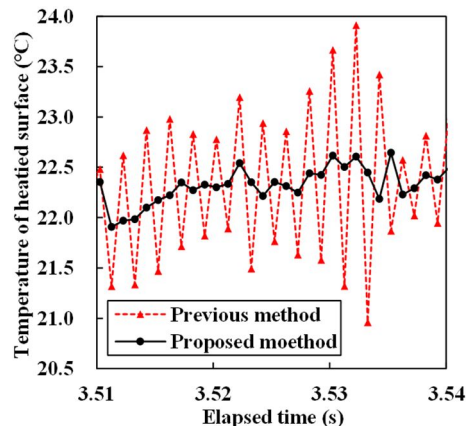


図4 時間経過に伴う裏面温度の変化

さらに、提案手法の有用性を検証するために微小物体の温度測定を試みた。厚さ約 1mm の SKD 薄板の片面を 40 または 60 のヒーターでそれぞれ加熱した際の内部温度分布を計測した。図 6 は加熱開始後の加熱面温度の変化を示したもので、加熱温度の違いによる温度上昇の相違が明確に捉えられている。なお、表面近傍の温度分布の変化を高い時間分解能で捉えることにも成功した。

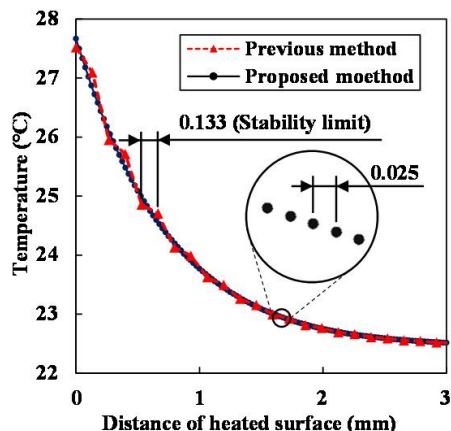


図 5 SKD 材の温度分布の様子

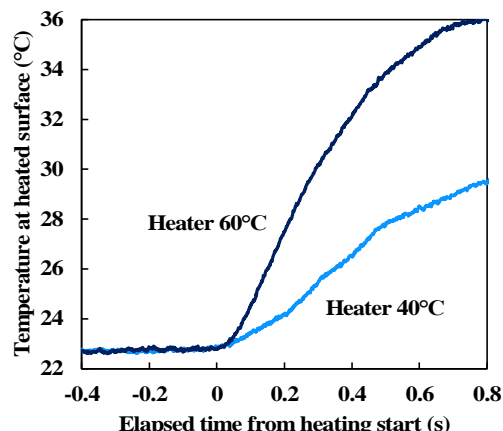


図 6 厚さ 1mm の SKD 薄板の片面加熱時の表面温度の変化の様子

以上のように、超音波による材料内部温度分布測定手法の高性能化を目的とし、温度分布解析の計算手法を陽解法から陰解法へと変更することにより、伝播時間測定誤差の影響を軽減するとともに、空間分解能を大幅に向上（理論上無制限）させることに成功した。この手法により微小物体あるいは薄膜の温度分布測定が可能であることが実験により確認できた。

(4) 多チャンネル超音波計測システムの構築と鋳造モニタリングへの適用

高温場（高温材料ならびに加熱界面）での超音波パルスエコーの空間・時間応答の高精度測定を実施するために、8チャンネル超音波パルサー/レシーバを導入し、LabVIEW を駆使した汎用性の高い高温リアルタイム計測システムを構築した。これにより、パルサーの超音波打ち出し周期（例えば、1kHz）に同期した独立した 8チャンネルのパルスエコー計測・解析が可能となった。このシステムと薄高温用薄膜圧電振動子を組み合わせることで、500 の高温材に対する 8チャンネルマルチ超音波計測が実現し、高温場のリアルタイム定量的材料モニタリングの基礎が築かれた。さらに、この 8チャンネル UT を設置したアルミニウム鋳造モニタリング用実験装置（溶湯実験装置）を開発した。図 7 は開発した計測システムと溶湯実験装置の外観を、図 8 はその波形表示画面を示す。

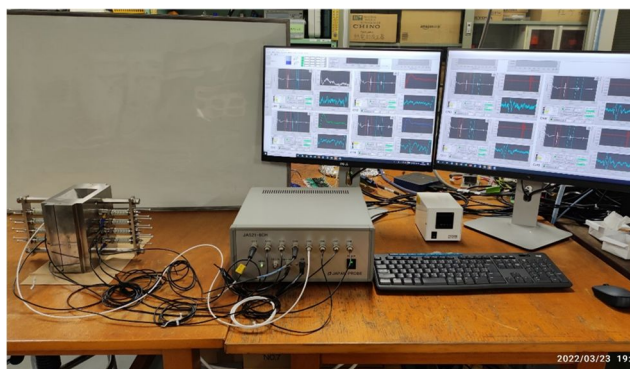


図 7 計測システムと溶湯実験装置の外観

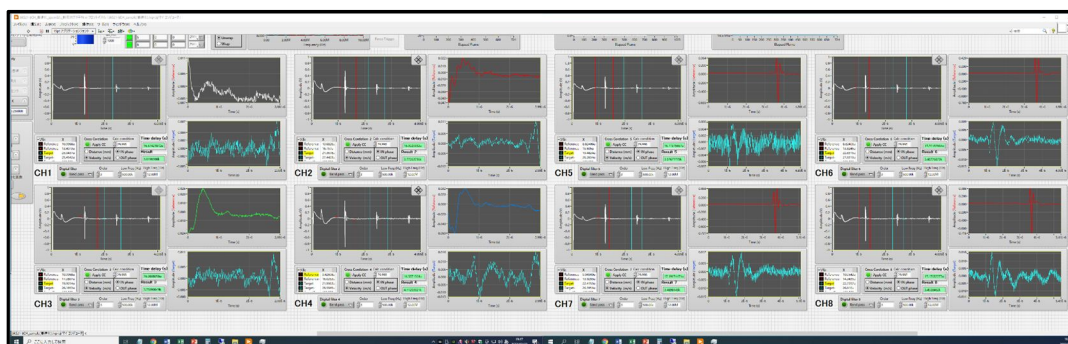


図 8 開発した計測システムの波形表示画面

(5) その他

高温薄膜圧電材と楔プローブを駆使したモード変換波による高温横波パルスエコー計測法が開発され、熔融金属の湯流れや凝固にともなう過渡現象の多点リアルタイムモニタリングが可能となった。さらに、レーザ超音波スキニングによる2次元マルチポイントパルスエコー計測のための基本システムが構築されたことで、高温材料の非接触超音波計測、特に広範囲における多点測定が可能となり、様々な材料加工プロセスへの超音波定量評価手法(裏面状態モニタリング、超音波サーモメトリ、等)の適用の基礎が築かれたものとする。

このように本研究の所期の目標は達成できたと判断できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Masaya Shimada, Takahiko Kurahashi, Yuki Murakami, Fujio Ikeda and Ikuo Ihara	4. 巻 13
2. 論文標題 Research on three-dimensional defect topology identification in concrete structures based on self-attention network using hammering response data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 84-87
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 嶋田雅也、倉橋貴彦、村上祐貴、池田富士雄、井原郁夫	4. 巻 87
2. 論文標題 打撃応答波形を用いた機械学習によるコンクリート構造物内の3次元空洞形状同定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-15
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Moriyasu Kanari, Naoki Iitsuka, Keita Tominaga, and Ikuo Ihara	4. 巻 547
2. 論文標題 Nanoindentation determination for mechanical properties of submillimeter boron carbide particles simulating fuel debris fragments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152818
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 吉原健太、倉橋貴彦、村上祐貴、外山茂浩、池田富士雄、井山徹郎、井原郁夫	4. 巻 70
2. 論文標題 フェーズフィールド法の考え方に基づくレベルセット型トポロジー最適化を用いた打撃試験による空洞領域の可視化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 41-48
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 井原郁夫、高橋学	4. 巻 77
2. 論文標題 レーザー超音波法による加熱材料の非接触温度プロファイリング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 367-373
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 無
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 山田晃嗣、太田真司、飯島佑介、吉田史志、福原智朗、米倉勲、井原郁夫	4. 巻 33
2. 論文標題 超音波による押出機内の可塑化状態評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 成形加工	6. 最初と最後の頁 367-373
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 無
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 吉原健太、坂井研斗、倉橋貴彦、村上祐貴、外山茂浩、池田富士雄、井山徹郎、井原郁夫	4. 巻 69
2. 論文標題 打撃検査における変位応答波形を用いた空洞形状同定へのランダム・トンネリング・アルゴリズムの適用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 746-753
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 井原郁夫	4. 巻 69
2. 論文標題 高温場の超音波センシングとその応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 575-581
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 無
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 Ikuo Ihara, Ryoichi Sawada, and Youji Ogawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Application of Ultrasonic Thermometry to Condition Monitoring of Heated Materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Second World Congress on Condition Monitoring	6. 最初と最後の頁 87-94
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. N. F. Saniman, K. A. A. Wahid, F. M. Foudzi, H. H. Ladin, and I. Ihara	4. 巻 20
2. 論文標題 Quantitative Roughness Characterization of Non-Gaussian Random Rough Surfaces by Ultrasonic Method Using Pitch-Catch and Pulse-Echo Configurations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering	6. 最初と最後の頁 80-87
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 該当する

1. 著者名 吉原健太、坂井研斗、倉橋貴彦、村上祐貴、外山茂浩、池田富士雄、井山徹郎、井原郁夫	4. 巻 69
2. 論文標題 打撃検査における変位応答波形を用いた空洞形状同定へのランダム・トンネリング・アルゴリズムの適用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 1-8
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 Iwao Matsuya, Yuuki Hirai, Yasuhisa Oguro, Takumi Arai, Toshiki Machida, Takayuki Ishibashi, and Ikuo Ihara	4. 巻 6
2. 論文標題 Enhancement of Evanescent-Light-Induced Wedge Waves due to Water Confinement in a Point-Contact Configuration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions on GIGAKU	6. 最初と最後の頁 1-9
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 森雅之、小川曜史、本間雄大、松谷巖、井原郁夫	4. 巻 31
2. 論文標題 ウェッジ波を用いた液面レベルセンシング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 超音波TECHNO	6. 最初と最後の頁 96-9
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 無
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 高橋学、井原郁夫、渡辺弘和、阿部将典	4. 巻 68
2. 論文標題 レーザを援用した超音波パルス検出による水温および室温の非侵襲計測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 非破壊検査	6. 最初と最後の頁 434-439
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 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Ikuo Ihara, Kamui Yoshida, Shinji Wada
2. 発表標題 Utilization of Ultrasonic Thermometry for Real-Time Monitoring of Heating Materials
3. 学会等名 The 6th Asian Symposium on Materials and Processing 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kamui Yoshida, Naoki Wadamori, and Ikuo Ihara
2. 発表標題 Improvement of Spatial Resolution in Temperature Profiling inside Materials by Ultrasound
3. 学会等名 42nd Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiko Kurahashi, Yuki Murakami, Shigehiro Toyama, Fujio Ikeda, Tetsuro Iyama, Ikuo Ihara
2. 発表標題 Numerical experiments for cavity shape identification analysis using hammering test data based on level-set type topology optimization
3. 学会等名 the 14th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaya Shimada and Takahiko Kurahashi, Yuki Murakami, Fujio Ikeda and Ikuo Ihara,
2. 発表標題 Research on Three-dimensional Cavity Topology Identification in Concrete Structures Based on Machine Learning Using Hammering Response Data
3. 学会等名 Computational Science and AI in Industry (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiko Kurahashi, Yuki Murakami, Shigehiro Toyama, Fujio Ikeda, Tetsuro Iyama, and Ikuo Ihara
2. 発表標題 Application of level-set type topology optimization analysis for cavity shape estimation problem in structures based on non-destructive hammering test
3. 学会等名 14th World Congress in Computational Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 吉田龍立、和田眞治、和田森直、井原郁夫
2. 発表標題 微小物体内の温度プロファイリングのための超音波サーモメトリの開発
3. 学会等名 日本非破壊検査協会第29回超音波による非破壊評価シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩淵脩、瀧 雅伸、井原 郁夫
2. 発表標題 レーザ超音波法によるピッチキャッチモードでのバルク波音速計測に関する検討
3. 学会等名 日本非破壊検査協会第29回超音波による非破壊評価シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩淵脩、瀧 雅伸、井原 郁夫
2. 発表標題 レーザ超音波法による同一面からのバルク波音速計測に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会第29回機械材料・材料加工技術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田龍立、和田森直、井原郁夫
2. 発表標題 材料加工モニタリングに資する超音波サーモメトリの性能向上に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会第29回機械材料・材料加工技術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大和将真、和田眞治、粉川えみい、坂井亮、棚橋正貴、市沢寿人、和田森直、井原郁夫
2. 発表標題 超音波導波棒を用いた液面レベルセンサの開発
3. 学会等名 日本非破壊検査協会2021年度秋季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井原郁夫
2. 発表標題 超音波による温度センシング
3. 学会等名 日本非破壊検査協会九州支部令和3年度第2回技術サロン（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田龍立、和田森直、井原郁夫
2. 発表標題 熱伝導解析を利用した超音波サーモメトリの空間分解能と時間応答性の向上
3. 学会等名 日本機械学会 2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋田 雅也, 倉橋 貴彦, 村上 祐貴, 池田 富士雄, 井原 郁夫
2. 発表標題 Self-Attention Networkに基づくコンクリート構造物打撃時の加速度応答を用いた内部欠陥のトポロジー同定
3. 学会等名 2021年度日本応用数理学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田晃嗣, 太田真司, 飯島佑介, 吉田史志, 福原智朗, 米倉勲, 井原郁夫
2. 発表標題 超音波による押出機内の可塑化状態評価
3. 学会等名 日本印刷学会第145回研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山友宏、近藤博紀、井原郁夫
2. 発表標題 超音波サーモメトリーを用いた型内温度の広範囲計測技術
3. 学会等名 日本鑄造工学会第4回鑄造工学会ダイカスト研究部会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuya Ogawa, and Ikuo Ihara
2. 発表標題 Designing Tapered Buffer Rod with Small End for Ultrasonic Pulse Echo Measurements
3. 学会等名 41st Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ikuo Ihara
2. 発表標題 Ultrasonic Evaluation and Monitoring of Molten Polymer Using Buffer Rod Probe
3. 学会等名 20th World Conference on Non-Destructive Testing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2022年

1. 発表者名 塩野翔太、和田森直、井原郁夫
2. 発表標題 超音波散乱波を用いた内部温度計測に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部 第 58 期総会・講演会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 嶋田雅也、倉橋貴彦、村上祐貴、池田富士雄、井原郁夫
2. 発表標題 打撃応答波形を用いた機械学習によるコンクリート構造内の3次元空洞形状同定に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部 第 58 期総会・講演会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 小川裕也、大和将真、井原郁夫
2. 発表標題 クラッドバッファロッドによる樹脂薄層のパルスエコー計測
3. 学会等名 第28回超音波による非破壊評価シンポジウム
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 小川曜史、小山友宏、前田満、井原郁夫
2. 発表標題 超音波パルスエコー法による裏面加熱材の状態モニタリング手法の検討
3. 学会等名 第28回超音波による非破壊評価シンポジウム
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 井原郁夫
2. 発表標題 超音波サーモメトリの開発とその応用
3. 学会等名 日本伝熱学会主催講習会「計測技術 ～温度計測の基礎と最新の非接触計測技術～」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川曜史、澤田龍一、井原郁夫
2. 発表標題 熱履歴を受ける加工材料の内部温度モニタリングへの超音波サーモメトリの適用に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会第28回機械材料・材料加工技術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉橋貴彦、村上祐貴、外山茂浩、池田富士雄、井山徹郎、井原郁夫
2. 発表標題 打撃試験における空洞形状判別に対するレベルセット関数を用いたトポロジー最適化解析の適用
3. 学会等名 日本機械学会CMD2020計算力学スクウェア研究報告
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川裕也、井原 郁夫
2. 発表標題 テーバロッドを伝搬する超音波パルスのSN比の向上に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会 2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 和田眞治、秋山高徳、小川曜史、森雅之、市村政稔、粉川えみい、笛吹健志、井原郁夫
2. 発表標題 表面波の伝播解析とその液面レベル計測への応用
3. 学会等名 日本非破壊検査協会令和2年度秋季講演会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田晃嗣、太田真司、飯島佑介、吉田史志、福原智朗、米倉勲、小川裕也、井原郁夫
2. 発表標題 超音波による押出機内の可塑化状態評価
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第31回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ikuo Ihara
2. 発表標題 Ultrasonic Sensing at High Temperature and Its Applications
3. 学会等名 KSNT Ultrasonic Testing Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikuo Ihara, Takeyuki Kurauchi, and Masanori Abe
2. 発表標題 Ultrasonic Detection of Solidification Front of Molten Polymer Using Buffer Rod Probe
3. 学会等名 IEEE 2019 Far East Forum on Nondestructive Testing & Evaluation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoichi Sawada and Ikuo Ihara
2. 発表標題 Improved Practicality of Ultrasonic Thermometry Utilizing Longitudinal and Transverse Waves
3. 学会等名 40th Symposium on Ultrasonic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikuo Ihara, Ryoichi Sawada, Youji Ogawa
2. 発表標題 Application of Ultrasonic Thermometry to Condition Monitoring of Heated Materials
3. 学会等名 2nd World Congress on Condition Monitoring (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoichi Sawada, Youji Ogawa and Ikuo Ihara
2. 発表標題 Study on Accuracy Improvement in Ultrasonic Thermometry Based on Pulse-Echo Method
3. 学会等名 International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics (ATEM (国際学会))
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihara kenta, Takahiko Kurahashi, Yuki Murakami, Shigehiro Toyama, Fujio Ikeda, Tetsuro Iyama and Ikuo Ihara
2. 発表標題 The Random Tunneling Algorithm for Identification of Cavity Position in a Concrete Using Surface Displacement in Hammering
3. 学会等名 The World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井原郁夫
2. 発表標題 高温用超音波パッファロッドプローブの設計と応用
3. 学会等名 日本非破壊検査協会令和元年度第2回超音波計測に関する萌芽技術研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Ikuo Ihara, Ryoichi Sawada, Youji Ogawa, and Yasuaki Kawano	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Nature Singapore Pte	5. 総ページ数 795
3. 書名 Advances in Condition Monitoring and Structural Health Monitoring, Lecture Notes in Mechanical Engineering	

1. 著者名 井原郁夫（分担執筆）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 676
3. 書名 電子機器の放熱・冷却技術と部材の開発	

〔出願〕 計6件

産業財産権の名称 検査方法	発明者 井原郁夫、小川曜史、小山友宏	権利者 トヨタ自動車(株)、長岡技術科学大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-8479	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 表面波検出装置、液面位置検出装置及び液種特定装置	発明者 井原郁夫、和田眞治、粉川えみい、坂井亮、笛吹健志	権利者 日本精機(株)、長岡技術科学大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-202956	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 液面位置検出装置	発明者 井原郁夫、森雅之、粉川えみい、ほか5名	権利者 日本精機(株)、長岡技術科学大学
産業財産権の種類、番号 特許、2019-169631	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 液面位置検出装置	発明者 井原郁夫、森雅之、粉川えみい、ほか5名	権利者 日本精機(株)、長岡技術科学大学
産業財産権の種類、番号 特許、2019-036013	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 液面位置検出装置	発明者 井原郁夫、森雅之、粉川えみい、ほか5名	権利者 日本精機(株)、長岡技術科学大学
産業財産権の種類、番号 特許、2019-036016	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 表面波検出装置、液面位置検出装置、液種特定装置、溶液濃度検出装置及び液滴検出装置	発明者 井原郁夫、和田真治、粉川えみい、坂井亮	権利者 日本精機㈱、長岡技術科学大学
産業財産権の種類、番号 特許、2022-001354	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

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
研究分担者	松谷 巖 (Matsuya Iwao) (00514465)	東京電機大学・理工学部・准教授 (32657)	
研究分担者	鎌土 重晴 (Kamado Shigeharu) (30152846)	長岡技術科学大学・工学研究科・学長 (13102)	

	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
研究協力者	マコパダフィ スバス (Mukhopadhyay Subhas)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------