

事業区分	経常研究(基盤)	研究期間	令和4年度～令和6年度	評価区分	事後評価
研究テーマ名	陶磁器分野における AI、IoT 活用技術の開発				
(副題)	(焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化と焼成プロセス解析技術の開発)				
主管の機関・科(研究室)名	研究代表者名	窯業技術センター 研究企画課 吉田英樹			

< 県総合計画等での位置づけ >

長崎県総合計画 チェンジ&チャレンジ 2025	柱2 力強い産業を育て、魅力あるしごとを生み出す 基本戦略 2-1 新しい時代に対応した力強い産業を育てる 施策 3 製造業・サービス産業の地場企業成長促進
ながさき産業振興プラン 2025	基本指針 3 地力を高める 施策の柱 3-3 製造業・サービス産業の生産性向上と成長促進 1 競争力の強化による製造業の振興

1 研究の概要

研究内容(100文字)	
陶磁器製造用焼成炉に適応した IoT 化した温度センサー(以下 IoT センサー)を調査し、焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化技術を確立する。また IoT センサーから得られた温度分布可視化データと焼成歩留まりの関係に基づいて、生産歩留まり向上に寄与する AI 技術を活用した焼成プロセス解析技術を開発する。	
研究項目	陶磁器製造用焼成炉に適応した IoT センサーの調査 焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化技術の確立 生産歩留まり向上に寄与する AI 技術を活用した焼成プロセス解析技術の開発

2 研究の必要性

1) 社会的・経済的背景及びニーズ
本県の陶磁器産地は古くから陶磁器の量産技術に秀でており、多くの窯元が大型のガス焼成炉で陶磁器を生産している。
本センターのこれまでの調査で、メーカー各社が保有する焼成炉内にはそれぞれ特有の温度分布があることが明らかとなっている。その為、磁器を安定して生産するためには、経験的に温度分布を把握している熟練技術者の存在が欠かせない。
更に、時代が大量生産から多品種少量生産へ移行しているため、品種の特性(形状、サイズ等)に応じて最適な窯積みが必要であり、温度分布を把握することはより重要となっている。
しかし、豊富な知識を有する熟練技術者が減少傾向にあることで、焼成炉内の温度分布を把握した安定生産が困難になりつつあり、焼成不良品割合の増加につながっている。
一方、新たな技術革新として、AI(人工知能)、IoT(モノのインターネット化)によるデータ収集が近年注目されている。熟練技術者が減少傾向にある中、AI や IoT の活用が、熟練技術の伝承や、多品種少量生産に対応できる生産性向上に寄与するとされている。
そこで本研究では、陶磁器製造において特に重要な焼成プロセスに着目し、AI・IoT を活用した焼成炉内温度分布のリアルタイム可視化技術と焼成プロセス解析技術を確立する。
2) 国、他県、市町、民間での実施の状況または実施の可能性
IoT を活用した技術については、東日本電信電話(株)(NTT 東日本)が登り窯の IoT 化を実施した事例がある。
また、陶磁器メーカーの光洋陶器(株)は陶磁器製造プロセスの IoT 化を実施した事例がある。

3 効率性(研究項目と内容・方法)

研究項目	研究内容・方法	活動指標	R4	R5	R6	単位
	温度センサー(熱電対、放射温度計等)とセンサーから取得したデータを蓄積するための機器(Raspberry Pi 等)の最適な組合せ(性能・価格)を調査	評価数	目標	3		種
			実績	3		
	本センターの焼成炉を用いた多チャンネル測定技術の検討	チャンネル数	目標	3	15	箇所
			実績	3	15	
	企業のモデル焼成炉を用いた多チャンネル測定技術の検討	焼成炉の種類	目標		2	種
			実績		2	

	収集した温度データに基づく AI 解析手法の検討	検討する	目標	2	2	件																																												
		解析手法数	実績	2	2																																													
<p>1) 参加研究機関等の役割分担</p> <ul style="list-style-type: none"> ・窯業技術センター: IoT センサーの評価及び選定、温度データの収集方法の検討と AI 解析 ・波佐見(三川内)陶磁器工業協同組合: モデル工場でのデータ収集 ・焼成炉メーカー: 焼成炉の温度制御技術に関する情報提供 ・長崎県工業技術センター: AI, IoT 技術の情報提供 <p>2) 予算</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">研究予算 (千円)</th> <th rowspan="2">計 (千円)</th> <th rowspan="2">人件費 (千円)</th> <th rowspan="2">研究費 (千円)</th> <th colspan="4">財源</th> </tr> <tr> <th>国庫</th> <th>県債</th> <th>その他</th> <th>一財</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>全体予算</td> <td>11,254</td> <td>6,960</td> <td>4,294</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>4,294</td> </tr> <tr> <td>4 年度</td> <td>3,738</td> <td>2,296</td> <td>1,442</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,442</td> </tr> <tr> <td>5 年度</td> <td>3,708</td> <td>2,298</td> <td>1,410</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,410</td> </tr> <tr> <td>6 年度</td> <td>3,808</td> <td>2,366</td> <td>1,442</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,442</td> </tr> </tbody> </table> <p>過去の年度は実績、当該年度は現計予算、次年度以降は案 人件費は職員人件費の見積額</p>							研究予算 (千円)	計 (千円)	人件費 (千円)	研究費 (千円)	財源				国庫	県債	その他	一財	全体予算	11,254	6,960	4,294				4,294	4 年度	3,738	2,296	1,442				1,442	5 年度	3,708	2,298	1,410				1,410	6 年度	3,808	2,366	1,442				1,442
研究予算 (千円)	計 (千円)	人件費 (千円)	研究費 (千円)	財源																																														
				国庫	県債	その他	一財																																											
全体予算	11,254	6,960	4,294				4,294																																											
4 年度	3,738	2,296	1,442				1,442																																											
5 年度	3,708	2,298	1,410				1,410																																											
6 年度	3,808	2,366	1,442				1,442																																											
(研究開発の途中で見直した事項)																																																		
4 有効性																																																		
研究 項目	成果指標	目標	実績	R 4	R 5	R 6	得られる成果の補足説明等																																											
	炉内温度分布リアルタイム可視化システムの構築	1 件	1 件		○		多チャンネル温度センサーで取得した炉内温度をグラフ化することによりリアルタイム可視化できるシステムの構築。																																											
	焼成プロセス解析技術の確立	1 件	1 件			○	温度分布データと焼成歩留まりの関係を精度よく解析できる AI 技術を活用した焼成プロセス解析技術の確立。																																											
<p>1) 従来技術・先行技術と比較した新規性、優位性</p> <p>窯の中心部分温度が、製品のサイズや積み方によって上がりにくくなると経験的にわかっているが、測定が困難なため、計測記録は残っていない。一方、AI、IoT を導入した測定技術は、窯内の中心部分を含めた立体的な温度分布を分析することが出来る新規性を有する。企業や公設試が窯の中心部分温度を計測した事例はほとんど見当たらない。また、この技術により、炉内温度分布が完全に把握され焼成歩留まりの向上につながる優位性を有する。</p> <p>2) 成果の普及</p> <p>研究成果の社会・経済・県民等への還元シナリオ 焼成炉メーカーが、陶磁器メーカーに焼成炉内温度分布可視化システムを提供する。 本センターでは、AI 技術を活用した焼成プロセス解析技術を、企業の技術支援に活用する。 本研究成果である焼成炉可視化システム、AI 技術を活用した焼成プロセス解析技術については、特許を取得する。</p> <p>研究成果による社会・経済・県民等への波及効果(経済効果、県民の生活・環境の質の向上、行政施策への貢献等)の見込み 上記 , の成果により、県内企業の生産歩留まり向上が期待できる。 出荷額 50 億円で利益率を 2.5%と仮定すると、焼成歩留まりを 80%から 90%へ向上させることによって利益率が 13%迄向上し、5 億円の利益増加が見込める。 80%は現在の焼成歩留まり。(ある窯元から聞き取り)</p>																																																		
(研究開発の途中で見直した事項)																																																		

種類	自己評価	研究評価委員会
事前	<p>(3年度) 評価結果 (総合評価段階:S)</p> <p>・必要性 S 陶磁器を生産するために最も重要な設備である焼成炉には各窯元特有の温度分布があり、経験的に温度分布を把握している熟練技術者の存在が欠かせない。また、時代が大量生産から多品種少量生産へ移行しているため、品種の特性に応じて最適な窯積みが必要であり、温度分布を把握することはより重要となっている。</p> <p>しかし、豊富な焼成知識を有する熟練技術者が減少傾向にあり、陶磁器の安定生産が困難になってきている。この貴重な焼成技術を後世に伝えるためにも、熟練技術の伝承や生産性向上に寄与すると言われていた AI、IoT の活用が必要である。更に、焼成炉の AI、IoT 化を先駆けとして、ゆくゆくは陶磁器分野全般にも応用展開が可能であり、県研究機関として率先して取り組む必要がある。</p> <p>・効率性 S 本センターの焼成炉で繰返し実験を行い蓄積した AI、IoT 技術を、波佐見陶磁器工業組合を通じて企業のモデル焼成炉に応用することで、効率的に開発を進めることができる。</p> <p>また、焼成炉メーカーと共同で実施することで焼成炉の構造に応じた測定条件の最適化を効率的に進めることができる。</p> <p>加えて、AI、IoT の研究を行っている工業技術センターからの情報提供や技術支援を得ることで、AI 解析手法を効率的に検討できる。</p> <p>・有効性 S 焼成炉メーカーと連携して可視化システムを共同開発することで、迅速に製品化することが可能となり、早期に可視化システムが産地に普及することが予想されるため、有効性は高い。また、可視化システムの普及により、産地企業の生産歩留まりが向上することで利益率が增加するため、有効性は非常に高い。</p> <p>・総合評価 S 焼成炉の AI、IoT 化を先駆けで行うことで、陶磁器製品の生産性向上と品質安定化に寄与できる。全国的な生産年齢人口の減少は、避けることができない喫緊の課題であるため、熟練技術を伝承する手段として期待される AI、IoT 技術の導入を率先</p>	<p>(3年度) 評価結果 (総合評価段階:A)</p> <p>・必要性 A 今後、職人と呼ばれる熟練技術者が減っていく中、職人技を数値化、見える化をしていくために、焼成炉の AI、IoT による技術蓄積と手法構築はニーズがある。</p> <p>・効率性 A AI、IoT を用いた焼成炉の管理(温度等)において、炉内温度分布リアルタイム可視化システムの開発は重要である。センサーの種類や温度測定場所、磁器の種類やサイズや重量等との対応関係など、効率的なデータの蓄積と現場での必要情報の見極めが必要である。</p> <p>・有効性 A 不良品減少による利益増加や廃棄物の減少だけでなく最適焼成方法の確立により、県内陶磁器産業への技術波及が見込める。</p> <p>・総合評価 A AI、IoT を用いて焼成炉管理を行う試みは独創性が認められる。技術の伝承だけでなく、従来知ることの無かった炉内の場所の違いによる温度変化等、今後の技術向上に果たす役割が大きい研究で、陶磁器産業への技術波及が見込める。</p>

	して行うべきである。	
	対応	対応 効率的なデータの蓄積と現場での必要情報の見極めについては、試験条件を決定する際に、工業組合や、焼成炉メーカー、工業技術センターと共同で綿密に企画し、進めていくこととする。
途中	(年度) 評価結果 (総合評価段階:) ・必要性 ・効率性 ・有効性 ・総合評価	(年度) 評価結果 (総合評価段階:) ・必要性 ・効率性 ・有効性 ・総合評価
	対応	対応
事後	(7年度) 評価結果 (総合評価段階: A) ・必要性 S 焼成炉は窯元ごとに異なる温度分布を持ち、熟練技術者による経験的な把握が不可欠であるが、多品種少量生産が進む中、技術者の高齢化により安定生産が困難になりつつある。この課題解決のため、技術の継承と効率化を可能とする AI・IoT の活用について取り組む必要性は引き続き高い。 ・効率性 A センター保有の焼成炉を用いて炉内温度分布測定に関するIoT基盤技術を確立するとともに、波佐見陶磁器工業協同組合所属の窯元が保有する複数種類の量産窯における温度分布測定を行うことで多数の測定ノウハウを蓄積できた。また、IoT システムメーカーと共同で温度及び還元濃度を同時にリアルタイム測定・監視できる装置を開発し特許を共同出願した。 ・有効性 A 炉内温度分布リアルタイム可視化システムの構築については、炉内温度のみならず磁器の焼成に重要だが測定が難しかった還元濃度もリアルタイム可視化可能な装置をIoTシステムメーカーと	(7年度) 評価結果 (総合評価段階: A) ・必要性 A AI・IoT を活用した焼成温度可視化技術は、属人化の解消や若手育成に有効であり、品質安定や生産性向上に寄与、必要性は高い。また、本取り組みから、陶磁器還元焼成統合管理システムを商品化したこと、シミュレーションにより熱処理プロセスを明らかにして歩留まりを下げることを目指すことに高い必要性を感じる。 ・効率性 A 当初目標を達成し、可視化システムの製品化に至った点は効率性が高く評価できる。また、様々な窯の焼成条件を最適化できることは、企業の生産効率をあげることができ効果的である。さらなる技術革新に向け、研究を継続してほしい。 ・有効性 A 本研究は焼き物の不良率削減に寄与する技術。焼成統合管理システムは、県内に限らず全国の窯元で利用可能な技術であり、有効性は高い。今後、更なるデータの蓄積により、この技術の普及

<p>開発・特許出願し、「陶磁器還元焼成統合管理システム」として市販化できた。</p> <p>焼成プロセス解析システムにおいては、焼成温度と焼成歩留まりの関係を AI で解析する手法に一定の成果が得られた。さらに精度を高めるには継続的なデータ蓄積が必要であり、データ蓄積が可能な「陶磁器還元焼成統合管理システム」の窯元への普及により精度向上を目指す。</p> <p>・総合評価 A</p> <p>熟練技術者の高齢化により、焼成炉の温度分布把握に基づく安定生産の継承が課題となっており、AI・IoT の活用が不可欠である。本研究では炉内温度分布測定に関する IoT 技術を確立し、窯元の量産窯での測定やノウハウ蓄積、温度・還元濃度を同時測定可能な装置の市販化にも寄与した。今後、本装置の普及によってリアルタイム監視とデータ収集を強化し、熟練技術者に匹敵する安定生産技術の確立と、より高精度な焼成歩留まり予測 AI の実現につなげていきたい。</p>	<p>促進に期待する。</p> <p>・総合評価 A</p> <p>本研究は不良率削減や品質保証、技能継承に貢献する良い事例であり、データ蓄積による色味や出来栄の安定化ができれば波及効果の拡大が期待される。そのためには、解析技術の熟成が必要。引き続きの研究を期待する。</p>
<p>対応</p>	<p>対応</p> <p>本研究で開発した焼成統合管理システムの普及を図ることで、産地の焼成データの蓄積に努め、品質の安定化や技能継承に資する解析技術の導入や精度向上に向けた検討を引き続き進めたい。</p>