

R2年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「レーザ光高速走査・加工除去物の効率換気・搬送シートの連続加工によるエアバックの生産コスト低減を目的としたエアバック用シートのレーザ裁断装置の開発」

研究開発成果等報告書

令和3年5月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 公益財団法人佐賀県産業振興機構

目 次

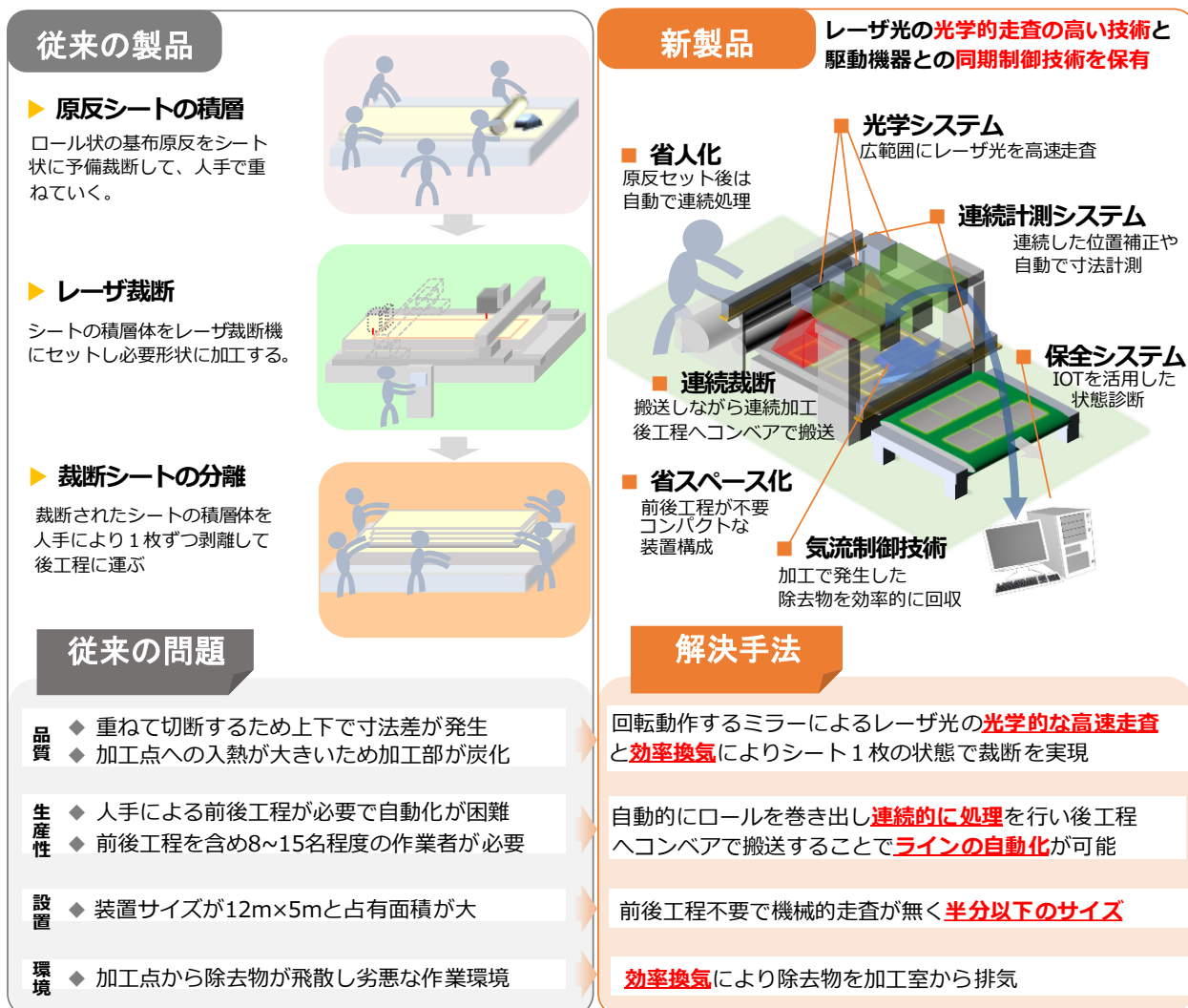
第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制	4
(1) 研究組織及び管理体制	4
(2) 事業管理機関	4
(3) 研究実施場所	4
(4) 共同研究機関	4
(5) 管理員及び研究員	5
1-3 成果概要	6
(1) レーザ加工技術の開発	6
(2) 裁断装置の開発	6
(3) 連続計測システムの開発	6
(4) 保全システムの開発	6
(5) 顧客評価	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論	
(1) レーザ加工技術の開発	8
(1-1) 光学システムの開発	8
(1-2) 気流制御技術の開発	10
(2) 裁断装置の開発	13
(3) 連続計測システムの開発	15
(4) 保全システムの開発	15
(5) 顧客評価	17
最終章 全体総括	18
(1) 複数年の研究開発成果	18
(2) 研究開発後の課題・事業化展開	18

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

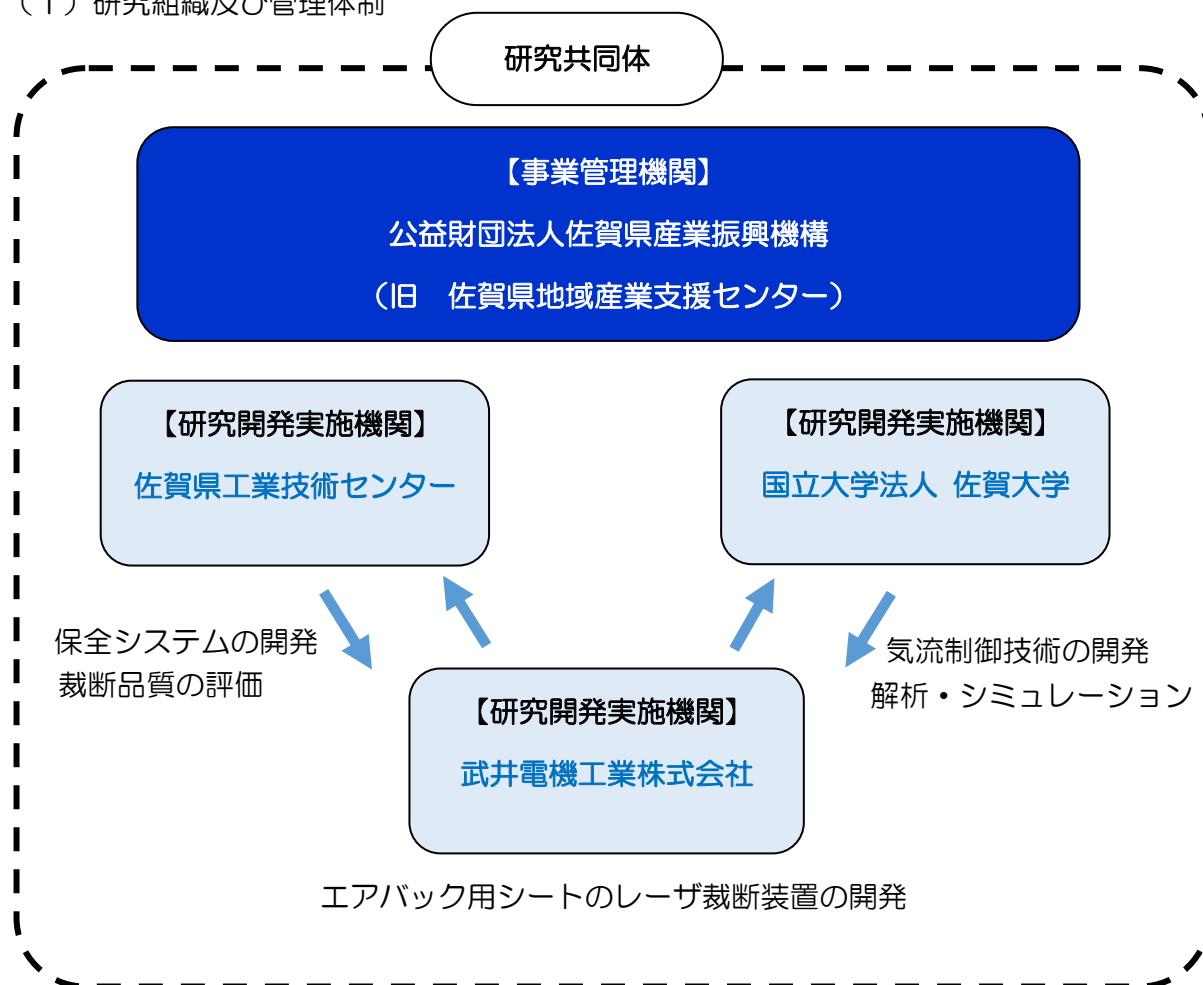
従来のエアバック裁断工程は、製品形状に沿ってレーザー射出部を走査し加工する。機械的な動作ではレーザー光の高速走査が困難で、処理能力を確保するため重ねて裁断する。そのため前後に重ねたり剥がしたりと人の作業を要し、オートメーション化出来ない。そこで、レーザー光の光学的な高速走査により搬送されるシートを裁断する技術を開発し、ロール状のシート原反から自動で製品形状のシートを連続的に生産する加工機を開発する。

エアバッグ用シートの裁断工程の生産性向上・省人化・省スペース化の同時実現



1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制



(2) 事業管理機関

公益財団法人佐賀県産業振興機構 (旧 佐賀県地域産業支援センター)

〒849-0932 佐賀県佐賀市鍋島町八戸構 114

(3) 研究実施場所

武井電機工業株式会社

〒849-0112 佐賀県三養基郡みやき町江口 2617

(4) 共同研究機関

佐賀県工業技術センター

〒849-0932 佐賀県佐賀市鍋島町八戸構 114

国立大学法人佐賀大学

〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町 1

(5) 管理員及び研究員

管理員

機関名	氏名	所属・役職	実施内容
公益財団法人 佐賀県産業振興機 構 (旧 佐賀県地域 産業支援セン ター)	大塚 和彦	事務局長	内部推進委員 プロジェクトの 管理・運営
	山口 悟	産業振興部 部長	
	秋吉 盛司	研究開発振興課 課長	
	野間 弘昭	研究開発振興課 科学 技術コーディネータ	
	實松 照彦	研究開発振興課 囑託	

研究員

機関名	氏名	所属・役職	実施内容
武井電機工業 株式会社	坂井 俊幸	営業部 部長	(1-1) 光学システムの開発 (1-2) 気流制御技術の開発 (2) 裁断装置の開発 (3) 計測システムの開発 (4) 保全システムの開発 (5) 顧客評価 内部推進委員
	桑原 太郎	技術部 部長	
	野村 進二	技術部技術課 主任研究員	

国立大学法人 佐賀大学	橋本 時忠	理工学部 機械システム 工学科 准教授	(1-2) 気流制御技術の開発
	住 隆博	理工学部 機械システム 工学科 准教授	

佐賀県工業 工業技術センター	白仁田 和彦	所長	内部推進委員
	福元 豊	材料環境部 部長	内部推進委員
	平井 智紀	材料環境部 特別研究員	(2) 裁断装置の開発
	久間 俊平	材料環境部 特別研究員	(2) 裁断装置の開発
	大坪 昭文	生産技術部 部長	内部推進委員
	中野 太郎	生産技術部 特別研究員	(4) 保全システムの開発
	福島 章吾	生産技術部 副主査	(4) 保全システムの開発

1-3 成果概要

(1) レーザ加工技術の開発

(1-1) 光学システムの開発

目標達成度：100%

開発した光学システムにより、600mm×600mm の走査範囲を実証した。また、高さ方向±5mm において、スポット径変動量は、±10%以内であることを確認した。

(1-2) 気流制御技術の開発

目標達成度：95%

およその部分で風速は 3000mm/s 以上となり目標を達成できたが、端から 200mm の範囲は、風速が 3000mm/s 以下となった。このことよりシート全域で目標の風速を得るには、換気システムの幅をシートの幅より 200mm 程の延長を必要とすることがわかった。本成果で得た技術の特許として出願した。

(2) 裁断装置の開発

目標達成度：100%

加工データ上は、200mm の長さに対して、199.5mm の加工長となり、加工精度が、±0.5mm 以内であることを実証した。また、エアバック形状で、10m/min の処理能力を実証した。

(3) 連続計測システムの開発

目標達成度：100%

1画素当たり 0.05mm の分解能で、連続的に画像の取得が可能となった。また、実寸 100mm に対し、画像を用いた測定結果は 100.4mm となり検出精度が±0.5mm以内であることを実証した。

(4) 保全システムの開発

目標達成度：100%

状態監視項目 109 項目、運転異常の検知項目 320 項目、全異常項目の検証試験において 100%特定した。今後、蓄積するデータを用いて機械学習させていくことで予兆保全へ

の活用を行っていく。

(5) 顧客評価

目標達成度：100%

COVID-19の影響に伴い、リモート見学や加工サンプルの送付による評価へ変更した。
裁断したシート 100 枚をアドバイザーが評価し、全数使用に問題ないとの評価結果をうけた。

研究項目		目標値	成果
(1) レーザー加工技術の開発	(1-1) 光学システムの開発	走査範囲 500mm×500mm 以上 加工深度±3mm	走査範囲： 600mm×600mm を達成 加工深度： ±5mm の加工深度を達成
	(1-2) 気流制御技術の開発	実測風速 シート幅全域 3000mm/s 以上 適正加工出力の 閾値変動 5%以下	概ね 3000mm/s 以上を達成したが、 端から 200mm の範囲は、未達成だが、 ノズル幅を延長することにより達成可能 計測 27 点で、閾値変動 5%以内を達成
(2) 裁断装置の開発		裁断精度±2mm 以下 (200mm/s 搬送状態) 加工処理能力 10m/min (エアバック相当の形状)	裁断精度±0.25mm を達成 (200mm/s 搬送状態) 加工処理能力 10m/min を達成 (エアバック相当の形状)
(3) 連続計測システムの開発		画素分解能 0.5mm×0.5mm 以下 検出精度±1mm 以下	画素分解能 0.05mm×0.05mm を達成 検出精度±0.2mm を達成
(4) 保全システムの開発		状態監視項目 30 項目以上 運転異常の検知項目 100 項目以上 異常の特定率 98%以上	状態監視項目 109 項目を達成 運転異常の検知項目 320 項目を達成 異常の特定率 100%を達成
(5) 顧客評価		歩留 90%以上	歩留 100%を達成

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属：公益財団法人佐賀県産業振興機構

氏名：研究開発振興課 野間 弘昭

TEL：0952-34-4413

FAX：0952-34-5523

E-Mail：noma-hiroaki@mb.infosaga.or.jp

第2章 本論

(1) レーザ加工技術の開発

(1-1) 光学システムの開発

1500mm×500mm の範囲にレーザ光を走査するため、500mm×500mm の範囲に対応したレーザ光学系 3 系統を合成することとした。1 系統で 500mm×500mm の範囲にレーザ光を走査するため、回転動作するモータに取り付けられたミラーを 2 セット用いて、500mm×500mm の平面にレーザ光を走査し、常に平面が焦点となるよう、ミラーの動きに合わせて焦点を補正できるレンズ機構を設けた。また、ミラーの回転角度により 500mm×500mm の走査エリアを得るには、以下の式で得られる作業距離を設けなければならない。

$$\text{作業距離} = \text{走査エリアの対角距離} \div (2 \times \sin \text{レーザ照射光学角})$$

一方、スポット径は次式で与えられる。

$$\text{スポット径 } d = 2 \times \text{波長 } \lambda \div (\pi \times \text{開口数 NA})$$

図 1 に作業距離のイメージを示す。

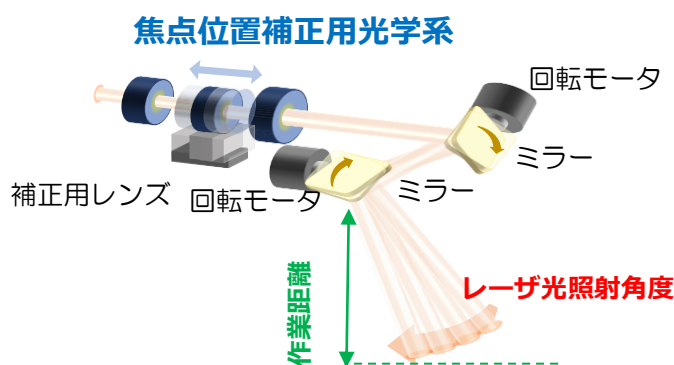


図 1 作業距離のイメージ

事前実験を行い、4 種 (A、B、C、D) のエアバック用シート (以下、シート) を使用し、図 2 の通り $\phi 0.2\text{mm} \sim \phi 0.6\text{mm}$ のスポット径に対して、裁断が可能となる境界の走査速度を評価した。また、それぞれの理論集光径における出力条件と周波数条件は一定とした。その結果、理論集光径 0.4mm を超えると 4 種全てのシートで裁断が可能となる境界の走査速度が低下した。よって、理論集光径は 0.4mm 以下がシートに対して適していることが事前実験によって確認された。

次に、レーザー光の走査範囲を 500mm×500mm 以上とした目標値に対して、図 5 に示すようなレーザー光の熱に反応しやすい感熱紙を用いた検証を行い、走査範囲が 600mm×600mm 以上であることを確認した。

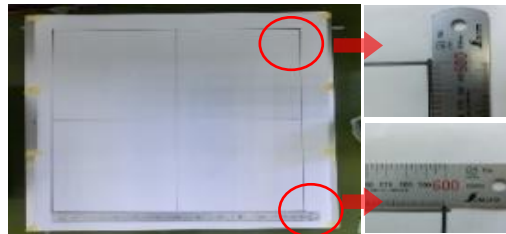


図 5 感熱紙を用いたレーザー光の走査範囲の検証状況

また、実際に CO2 レーザの波長帯において吸収が高く、ビーム径を反映しやすいアクリルを加工して、走査範囲が 500mm×500mm、高さ方向が±5mm における、加工スポット径を計測した。図 6 は、走査エリア中心の焦点位置を基準として、スポット径の変動範囲を 9 ポイントに表した図である。当初±10%以内とした目標値に対して、-1.8%~+7.7%を確保することができた。

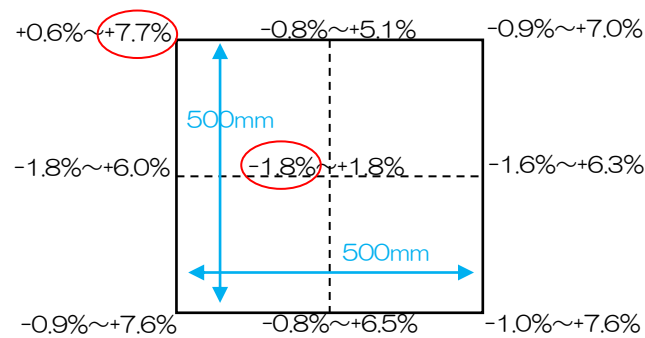


図 6 500mm×500mm、高さ方向±5mm の範囲でのスポット径変動量

(1-2) 気流制御技術の開発

1500mm×500mm の走査範囲内において、裁断点で発生する除去物を排気できる換気機構を開発した。まず、数値解析に提供するデータを取得した。粒径や組成が類似したナイロン 6 の粉体を使用して可視化実験を行った。その様子を図 7 に示す。



図 7 ナイロン6の粉体を使用する可視化実験

可視化実験のデータを元に、様々な条件におけるシミュレーションを行った。また、図 8 に示すような換気システムのモデルを作成し評価した。

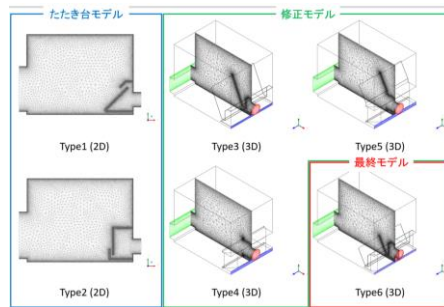


図 8 様々な換気システムのモデル

シミュレーションで評価した最適なモデルの結果を基に、図 9 に示すような換気システムを製作した。

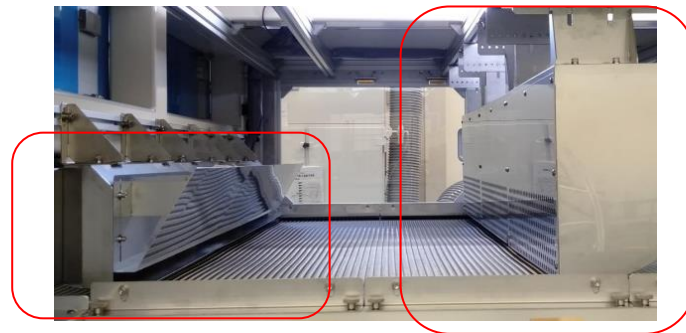


図 9 換気システム

1500mm×500mm の範囲において吸気口と同じ高さでの風速の測定結果を基にした分布を図 10 に示す。およその部分で風速は 3000mm/s 以上となり目標を達成できたが、端から 200mm の範囲は、風速が 3000mm/s 以下となった。このことよりシート全域で目標の風速を得るには、換気システムの幅をシートの幅より 200mm 程度の延長を必要とすることがわかった。

次に、シートに対してレーザー光を照射し、裁断エリア内の 27 点において裁断が可能な加工点出力の境界値を調査した。裁断が可能な加工点出力の境界値とは、シートにエネルギーが加わり、裁断が起きる限界値の事である。その境界値の相対的な分布を図 11 に示す。

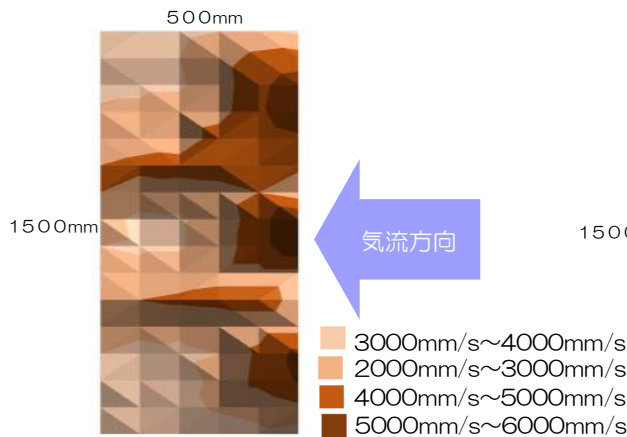


図 10 裁断エリア内の風速の分布

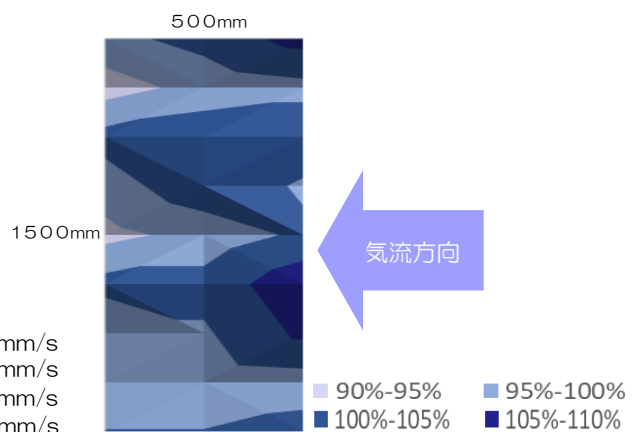


図 11 裁断が可能な加工点出力の境界値の相対的な分布

計測 27 点の内 4 点以外は、裁断が可能な加工点出力の境界値の変動を 5%以内に抑えることができたが、残り 4 点は、5%以上となった。なお、図 10 と図 11 を比較してみたところ、傾向が近似していることがわかった。このことから、裁断エリア内の風速を均一化することにより、裁断が可能な加工点出力の境界値の分布を平滑化できると考えた。

シミュレーションと異なり風速が均一でなかった要因として、検証時は解放されている箇所が多く、シミュレーションのような密閉空間ではなかったため、色々な箇所から外気が流入し、乱流が発生して、図 12 に示すような加工除去物が飛散する状態であった。そこで、解放されている空間を閉じ、シミュレーションと近い環境を作った。その結果、一方向の層流となり、効率的に換気できるようになった。さらに給気側を制御せず吸気のみで風量を制御する事で、安定した風速を得ることができ、図 13 のように除去物がシートに沿って流れる状態とすることができた。



図 12 密閉にしていない状態

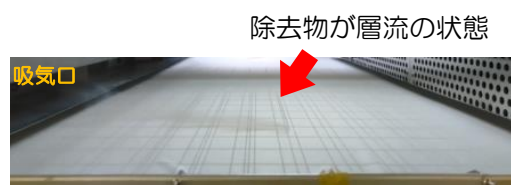


図 13 密閉し給気側を制御しない状態

そこで図 14 に示すように、給気側の全面に孔加工したステンレス製プレートを設置し、風速の測定と裁断が可能な加工点出力の境界値の検証を行った。その結果を図 15 と図 16 に示す。



図 14 給気側に全面孔加工した SUS プレート

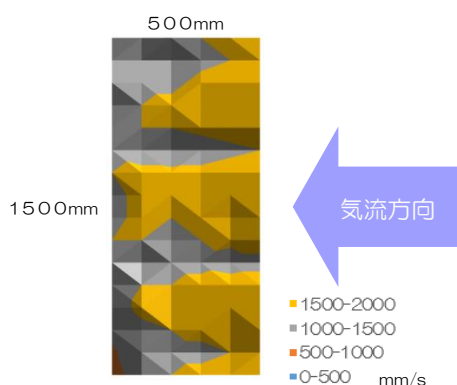


図 15 新換気システムでの実測風速検証

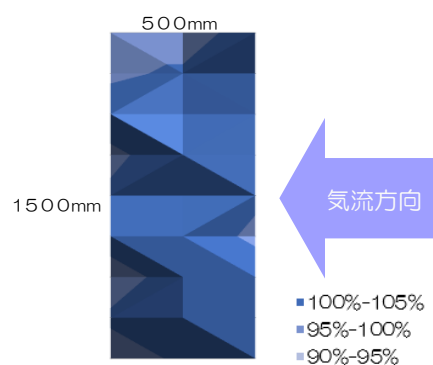


図 16 新換気システムでの裁断が可能な加工点出力の境界値の相対的な分布

給気側の変更により、風速を均一にすることができ、裁断が可能な加工点出力の境界値の変動量を、目標値の 5%以内とすることができた。なお、本事業を通して新たに考案された気流制御技術を中心に具体化した発明の特許を出願した。(特願 2021-013068)

(2) 裁断装置の開発

コンベアにより一定速度で搬送されるシートを、レーザ光学システムより照射されるレーザ光で裁断する装置を試作した。その外観を図 17 に示す。



図 17 試作したエアバック用シートのレーザ裁断装置

試作装置を用いて、実際にシートを裁断して、その精度を検証した。その結果 200mm の裁断データに対し加工長は 199.5mm となった。これは、レーザ光での除去幅に伴う要因もあり、その分の補正を行うことで精度が向上した。さらに、処理能力を実証するために、実際のエアバック形状で、連続的に裁断を行い、目標値とした 10m/min で処理できることを確認した。処理能力が裁断形状により影響を受けるため、今後もより多くの品種のシートで検証していく必要がある。

裁断品質の面では、シートの裁断部を顕微鏡で微視的な観察及び計測を行い、その結果を基に、評価方法を決定した。レーザ照射によるシートの裁断条件の選定について、品質工学のロバストパラメータ設計に基づく実験計画により、裁断されたシートの裁断品質を裁断幅の安定性と考え、評価を行った。図 18 の裁断幅の安定性に最も寄与する因子は、換気システムであり、図 19 の裁断幅の大きさに最も寄与する因子は、繰り返し周波数と焦点位置であることが分かった。

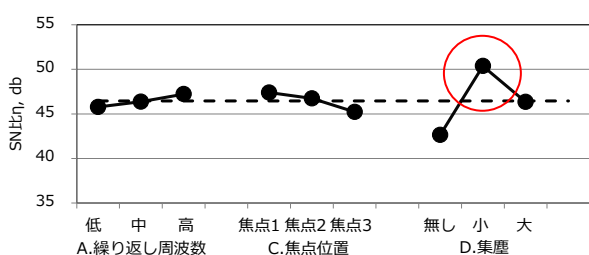


図 18 裁断幅の安定性に寄与する因子

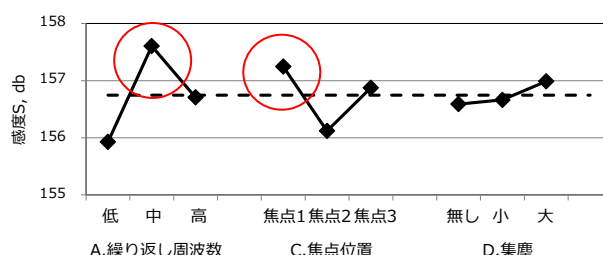


図 19 裁断幅の大きさに寄与する因子

試作機に対してこの因子を適用し、裁断した結果を図 20 に示す。エアバックには、気密性や耐久性を高めるために、シリコンコーティングが施されている物もあるが、その有無にかかわらず、裁断面の糸残りや裁断部付近の炭化物が無く、この因子を標準的な裁断条件とした。

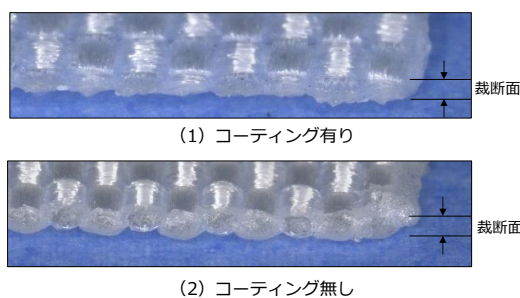


図 20 裁断面の拡大観察写真

(3) 連続計測システムの開発

エアバック用シートには、予め縫製が行われている品種や、加工位置を指示する印刷が施されている場合がある。また、製品の品質管理の面より、手作業での裁断寸法の計測が後工程に設けられる。そこで、ラインスキャンカメラを用いて、搬送中のシートの画像データを取得し、連続的に計測することで裁断する位置の検出や裁断寸法の計測を行うことができる図 21 のようなシステムを開発した。



図 21 連続計測システム外観

試作装置を用いて、ステンレス製の定規を撮影して検証した。図 22 に示すように 1mm の間に約 20 画素となる撮影ができ、1 画素当たり 0.05mm の分解能で連続的に画像の取得が可能となった。また、図 23 の通り定規の 100mm の距離に対し、画像を用いた測定結果は 100.4mm となり検出精度は±0.5mm 以内であった。今後、レーザ裁断と画像計測を組み合わせた動作ができるよう改良を図っていく。

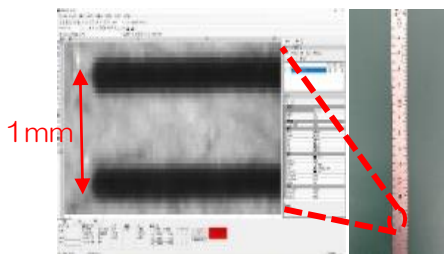


図 22 1mm の範囲の取得画像



図 23 100mm の範囲での取得画像

(4) 保全システムの開発

試作したレーザ裁断装置の状態を、外部からインターネットを介して図 24 の監視や異常時の対応ができる専用のシステムを開発した。



図 24 監視や異常時の対応ができる専用のシステム

レーザ裁断装置から得られる 109 項目の数値データを用いて、機械学習による予兆保全のための状態解析について検討した。装置を破損する可能性があり、負荷をかけて異常状態を出現することができないため、図 25 の様に、レーザの出力異常を模したダミーデータを作成し、正常な状態と比較した。

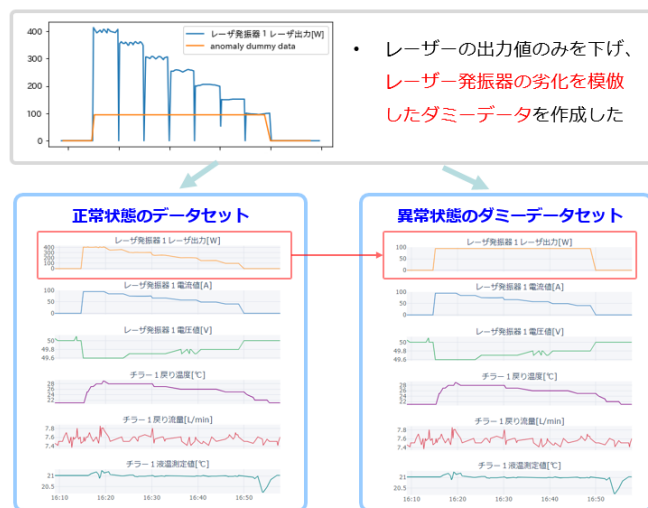


図 25 ダミーデータを作成し正常なデータと比較

異常があるダミーデータ（レーザ出力データ）を学習モデルに与えると、図 26 の通り実際のレーザ出力の差分と同様の変化を示し、異常度として定量化することができた。このことにより、異常状態の監視指標として予兆保全に活用できる可能性があることがわかった。

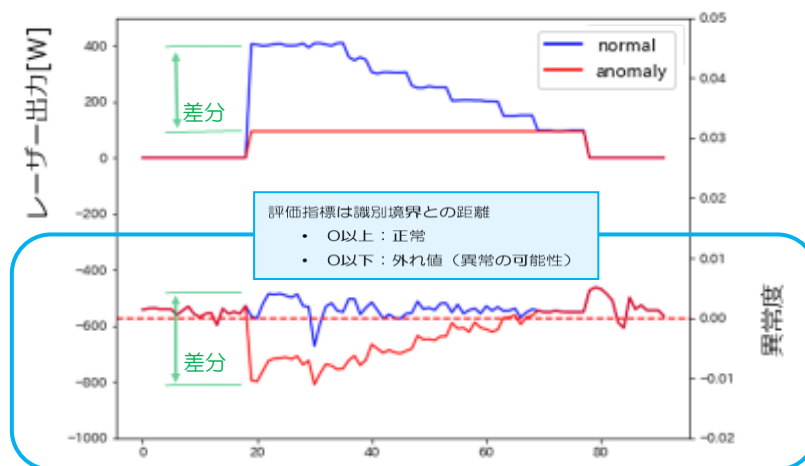


図 26 異常があるダミーデータを与えての運転状態の定量化

(5) 顧客評価

試作装置を用いてエアバック用シートの基布原反で裁断検証を行った。歩留 90%以上を目指し顧客の製品基準での裁断品質や裁断精度、処理能力の評価を実施した。提案当初、実際に試作した裁断装置を顧客が操作して評価する計画であったが、COVID-19の影響により、往来が制限されたため、Web サービスを利用したりリモートでの装置の見学や、加工状況を撮影した動画による処理能力の確認を行った。また、開発した光学システム制御用ソフトに、図 27 の様なエアバック形状の CAD データを入力し、裁断精度の計測と顧客による裁断品質の評価を行った。その精度測定の結果を、図 28 に示す。裁断品質について、全数とも顧客使用において問題ないとの評価を受けた。

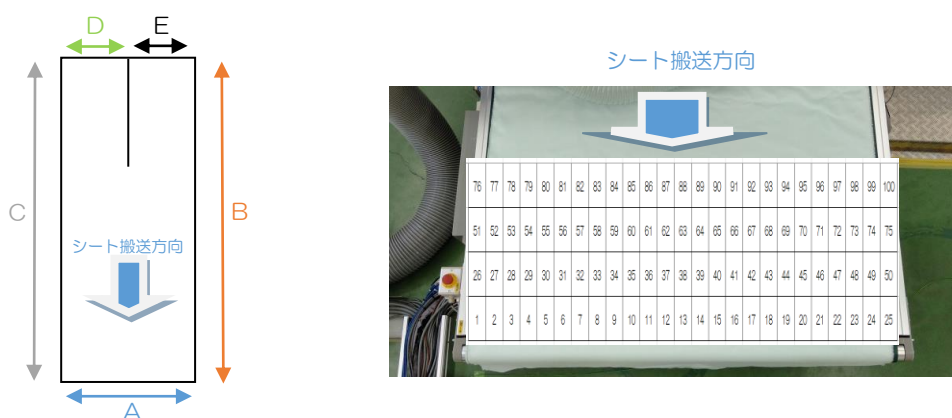


図 27 エアバック形状の CAD データとシート裁断位置

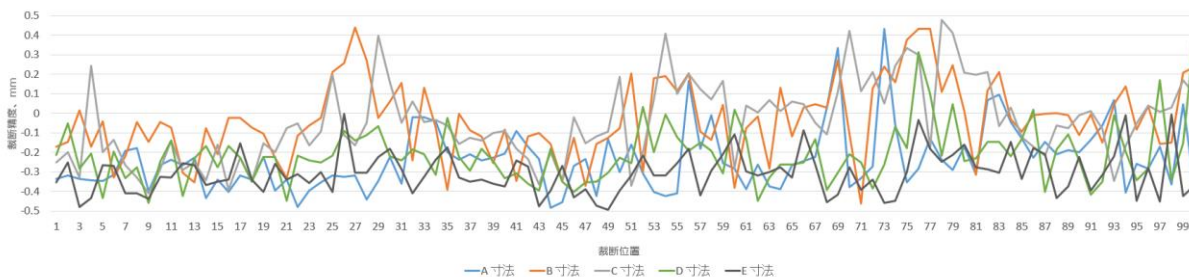


図 28 裁断精度の測定結果

裁断寸法精度は、 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内であった。しかし、裁断位置によって精度にばらつきがあった。中心付近に比べ、シート幅の端でより精度が変動し、搬送方向である図 27 の C 寸法と B 寸法で、より精度が低下している。そのため、シートの浮きや伸び、搬送中にシートが蛇行し、精度よく位置情報を取り込めず、裁断精度が低下していると考えた。今後、シートの搬送状態を改善し、さらなる装置の最適化を進めていくことが必要である。

最終章 全体総括

(1) 複数年の研究開発成果

レーザ光高速走査・加工除去物の効率換気・搬送シートの連続加工によるエアバックの生産コスト低減を目的としたエアバック用シートのレーザ裁断装置の開発を行ってきた。既に多くのサンプル評価を行っており、今後、事業化に向けて大きな期待が持てる状況となっている。なお、本事業を通して新たに考案された気流制御技術を中心に具体化した発明の特許を出願した。(特願 2021-013068)

(2) 研究開発後の課題・事業化展開

生産性向上、省人化、省スペース化の同時実現のため、搬送シートの連続加工を行うことができる装置を開発したが、光学システムを調整するためには、高精度な計測装置が必要になることがわかった。そのため、納入する現地でも使用できる計測装置の開発が、今後の課題となる。

事業化への展開については、スケジュールを図 29 に示す。従来の顧客に対して、開発した製品の PR を進め、その上で必要となる営業ツール（営業資料や動画、評価用サンプル）を整備する。また、試作装置を用い、サンプル評価や処理能力の検証を進める。新たな顧客に対する今後の営業展開において、展示会の活用を検討する上で COVID-19 の影響が大きい。展示会自体の集客が低迷しており、出展しても効果が得られにくいことを懸念している。そこで、本製品については、当社の Web サイトでの公開や代理店へのリモートによる紹介等の手法により営業活動を行う予定である。自動車分野の顧客より本技術の応用用途についてもヒアリングを継続的に行いアプリケーションの拡大を図っていく。



図 29 事業化に向けたスケジュール