平成２３年度　補正予算事業戦略的基盤技術高度化支援事業

「近赤外線分光法による食品混入毛髪の非破壊探知装置の開発」

研究開発成果報告書

平成２５年２月

委託者　東北経済産業局
委託先　地方独立行政法人青森県産業技術センター

目　　次

第１章　研究開発の概要　・・・ １
１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標　・・・ １
１－２　研究体制　・・・ ２
１－３　成果概要　・・・ ６
１－４　知的財産権等の取組状況　・・・ ７
１－５　当該研究開発の連絡窓口　・・・ ８

第２章　本論　・・・ ９
２－１　食品・毛髪の分析と認識検証　・・・ ９
２－１－１　毛髪成分の帰属波長に関する基礎的研究　・・・ ９
２－１－２　近赤外照射及び受光機構の開発　・・・12
２－１－３　光ファイバー形状の開発　・・・14
２－１－４　高精度・高安定性分光部の開発　・・・15
２－１－５　表示・操作部の開発　・・・17
２－１－６　搬送並びに筐体の開発　・・・18
２－１－７　毛髪探知装置の構築　・・・20

２－２　データ取得方法に関する研究開発　・・・23
２－２－１　光スイッチによる多点全方位測定、受光システムの開発・・・23
２－２－２　計測・制御部の開発　・・・24
２－２－３　組込みソフトウェアの開発　・・・27

最終章　全体総括　・・・29

研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標

（１）研究開発の背景

通常、食品製造業界における食品の毛髪や体毛等の異物検査は目視で行っていた。産業機械製造業界は菓子等の製造ライン上で対象物を撮像し、画像処理による検査装置を製品化したが、まつ毛や眉毛といった短いもの、また対象物である食品の色によって認識できないという欠点があった。また、毛髪は食品表面に付着した観察できる範囲に限定され、内部混入は未だ検出できていない。

物質の成分分析を非接触で行う手段として近赤外分光法がある。この特徴は、物質の成分組成への光の吸収を検知識別することで対象物の成分を特定できる。そこで申請者らは、近赤外分光法を応用した食品の毛髪検査に関する研究を行ってきた。

これまでの研究開発では、毛髪の成分の特徴、すなわち、ケラチンのアミノ酸組成であるシスチンは一般的な食品素材の組成分としては極めて少ないか、若しくは殆ど含まれていない成分であることに着目し、その組成分と組成比を認識・検出することによって、まつ毛や眉毛といった短い毛髪も含め検出を可能とする技術を見出した。このような原理に基づいた毛髪検出方法や装置に関する研究報告や類似の特許開示はなく、独創性と新規性を有する研究成果が期待できる。これまでに、本事業参加企業である（株）カロリアジャパンは、（地独）青森県産業技術センター工業総合研究所の指導の下に「食品中の毛髪探知方法と装置の開発」に関する研究を行い、毛髪帰属吸収波長の発見と実験室モデルの試作や基本的な計測ソフトウェア等の構築における多くの知見を得て、既に当該テーマに関連する 2 件の特許出願（「特願 2010-082220」、「特願 2010-082221」）をした。

一般に近赤外分光法は食品からの分光スペクトルを統計学的に解析する。そこで申請者らはこれまでに、光源、分光器、測定系及びコンベアを備えた毛髪検査装置を試作し、重回帰分析や判別分析といった統計学的手法にて機能検証を行っている。しかし、結果としては、膨大なデータ分析を必要とし、認識率 80%～99%と安定性を欠くものであった。

今後、実用的な産業機械として製造ラインへ導入するには本課題を早急に解決する必要があり、スペクトルデータの安定的測定と新しい認識アルゴリズムの開発が必要となる。そこで、既にセンターが保有している各種認識シミュレーション技術で分析した結果、毛髪の認識率の向上に向けては、サポートベクターマシンという学習認識手法が極めて有効な手段であることを原理確認し、本研究開発における開発課題の主題の一つとしたものである。また、温度対策の必要性や種類の異なる食品への対応や処理速度、及び価格面で実用化システムを開発する課題が明確となったことから本研究開発に取り組むものである。

（２）研究の目的

現在、食品製造における食品への毛髪混入の検査は、カメラ画像による画像認識手法が用いられているが、食品内部の毛髪認識は不可能であり、まだ検査装置は存

在しない。本事業では、物質の成分分析を非接触、非破壊で行う近赤外分光法を用い、毛髪成分を高精度に認識特定する技術を確立するとともに食品に混入する毛髪の有無を識別する装置を開発する。

（３）研究の目標

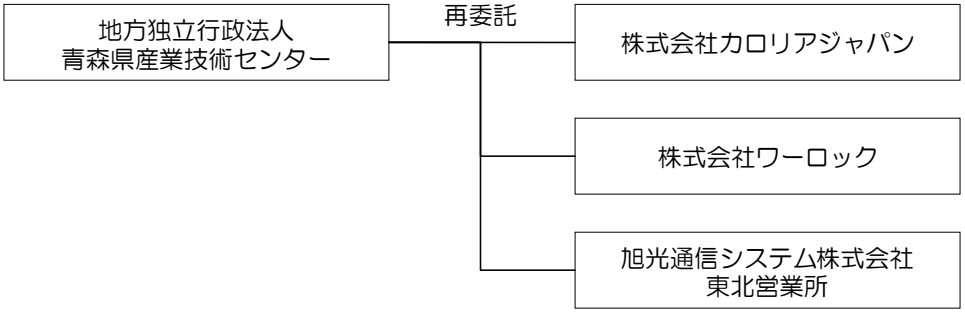
従来の画像認識方法から、タングステンハロゲンランプを光源として近赤外スペクトル分析する機構を構築することで、食品内部の毛髪を検査できるようにする。また、認識性能が優れた学習認識アルゴリズムであるサポートベクターマシンを実装することによって、食品に混入した毛髪の認識率を 99 %以上とする。

専用の光スイッチ機器を試作し多点測定、積算測定を行うことによって、菓子内部に混入する５ mm 以上の毛髪や体毛の認識を可能とする。

１－２　研究体制

（１）研究組織および管理体制

１）研究組織（全体）



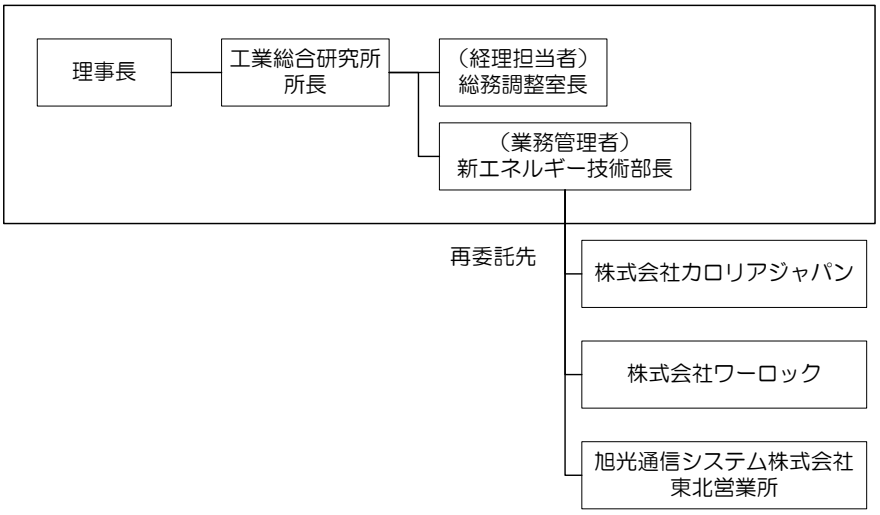
総括研究代表者（ＰＬ）
株式会社カロリアジャパン
新規事業本部長・花松憲光

副総括研究代表者（ＳＬ）
地方独立行政法人青森県産業技術センター　工業総合研究所
新エネルギー技術部長・岡山透

２）管理体制

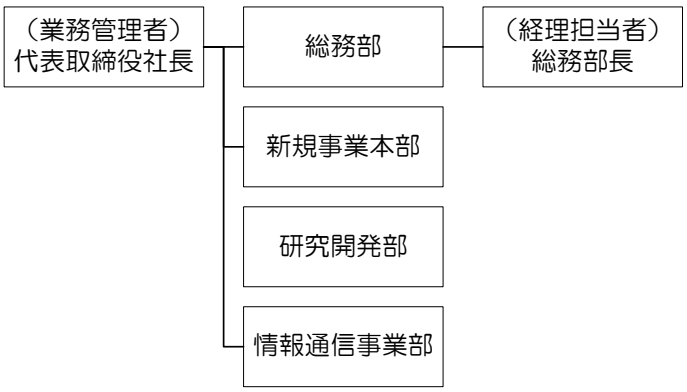
①事業管理者

地方独立行政法人青森県産業技術センター

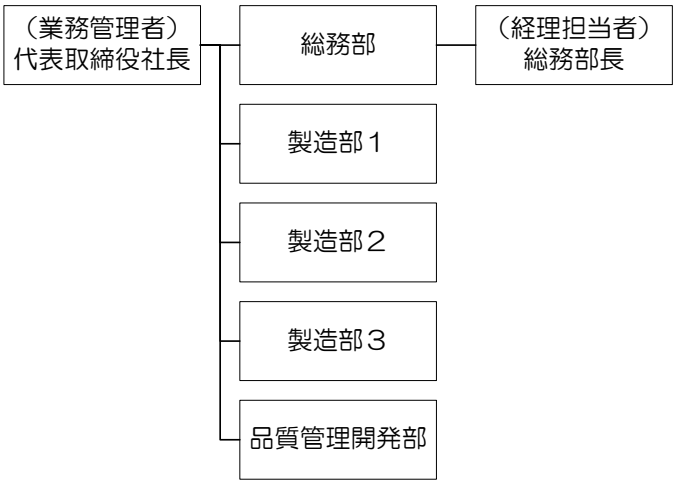


②再委託先

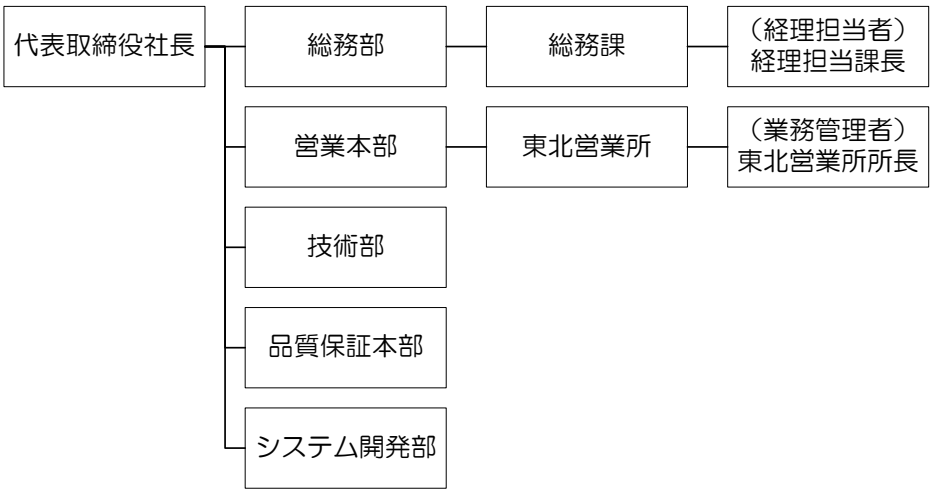
a. 株式会社カロリアジャパン



b. ワーロック株式会社



c．旭光通信システム株式会社



（2）研究員及びプロジェクト管理員

【事業管理者】

地方独立行政法人青森県産業技術センター

①研究員

氏名	所属・役職
岡山　透	工業総合研究所　新エネルギー技術部長
葛西　裕	工業総合研究所　主任研究員
角田　世治	工業総合研究所　研究員
宮川　大志	工業総合研究所　研究員
横濱　和彦	工業総合研究所　主任研究員
鈴木　翔一	工業総合研究所　研究員
研究補助員１	非常勤労務員
研究補助員２	非常勤労務員

②管理員

氏名	所属・役職
岡山　透	工業総合研究所　新エネルギー技術部部長
事務補助員	非常勤労務員

【再委託先】

株式会社カロリアジャパン

氏名	所属・役職
花松　学	代表取締役社長
花松　憲光	取締役新規事業本部長
外舘　志俊	情報通信事業部　部長
三上　夕樹	情報通信事業部　課長
白取　美加子	総務部　経理主任兼研究員
三浦　克之	研究開発部　部長
中野　寿樹	研究開発部　課長
小田桐　暢	研究開発部　係長
補助員１	研究開発部　補助員
補助員２	研究開発部　補助員

株式会社ワーロック

氏名	役職・所属
永井　純一	代表取締役社長

旭光通信システム株式会社　東北営業所

氏名	役職・所属
田鎖　康雄	東北営業所　所長

（３）経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

地方独立行政法人青森県産業技術センター

（経理担当者）工業総合研究所　総務調整室研究管理員　千葉　昌彦

（業務管理者）工業総合研究所　新エネルギー研究部部長 岡山　透

【再委託先】

株式会社カロリアジャパン

（経理担当者）経理主任　白取　美加子

（業務管理者）代表取締役社長　花松　学

株式会社ワーロック

（経理担当者）総務部長　永井　和佳子

（業務管理者）代表取締役社長　永井　純一

旭光通信システム株式会社　東北営業所

（経理担当者）経理担当課長　広田　善雄

（業務管理者）東北営業所所長　田鎖　康雄

（４）他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

①研究推進会議委員

氏名	所属・役職	備考
花松　憲光	株式会社カロリアジャパン　取締役新事業本部部長	ＰＬ
岡山　透	地方独立行政法人青森県産業技術センター 工業総合研究所新エネルギー技術部部長	ＳＬ
花松　学	株式会社カロリアジャパン　代表取締役社長	委
永井　純一	株式会社ワーロック　代表取締役社長	
田鎖　康雄	旭光通信システム株式会社　東北営業所所長	
葛西　裕	地方独立行政法人青森県産業技術センター 工業総合研究所新エネルギー研究部　主任研究員	
原田　晃	独立行政法人産業技術総合研究所　東北センター所長	アドバイザー
高松　義則	株式会社浜松ホトニクス　営業部	アドバイザー
河合　康英	ケイエルブイ株式会社　営業課課長	アドバイザー
古郡　俊	有限会社環構成研究所　所長	アドバイザー
安保　昭子	はとや製菓株式会社　代表取締役社長	アドバイザー
切田　仁	株式会社ＮＴＴデータ　ビジネスユニット長	アドバイザー
坂倉　俊裕	株式会社プラスサービス　本社広告事業部長	アドバイザー
田中　正人	株式会社菓匠三全　専務取締役	アドバイザー
武田　信治	さいとう製菓株式会社　取締役工場長	アドバイザー

②アドバイザーの主な指導・協力事項

アドバイザー 氏　　名	主な指導・協力事項
原田　晃	食品や毛髪の成分分析と評価
高松　義則	分光検出の安定性
河合　康英	光のスイッチ利用技術
古郡　俊	菓子製造のノウハウと毛髪混入状況の情報提供
安保　昭子	菓子製造のノウハウと毛髪混入状況の情報提供、作業性等の提言
切田　仁	通信技術やセキュリティ対策
坂倉　俊裕	販路開拓や効果的宣伝方式についての提言
田中　正人	菓子製造のノウハウと毛髪混入状況の情報提供、作業性等の提言
武田　信治	菓子製造のノウハウと毛髪混入状況の情報提供、作業性等の提言

１－３　成果概要

以下に各研究項目の成果概要を示す。

（１）食品・毛髪の分析と認識検証

①　毛髪成分の帰属波長に関する基礎的研究

毛髪探知に重要な毛髪成分組成であるシスチンの帰属波長に関する再検証を行った。また、シスチン帰属波長を用いるとともに、認識率を向上させるための特異波長を選定した。

②　近赤外照射及び受光機構の開発

ハロゲンランプと拡散光を集光する光学レンズの最適配置条件を設計した。また、それらを対で複数備えた光源・集光ユニットに対し、国内トラック輸送を想定した JIS 振動評価試験にて堅牢性を確認した。また、食品搬送面から光源ランプの開口面までの高さは任意設定を可能とし、載置面で照射範囲の径を 100mm とした。

③　光ファイバー形状の開発

集光用ファイバーはコアの材質、形状及び強度を考慮した設計試作し、光ファイバーはコア径４００μm 以上とし、装置に使用する長さにおいて伝送損失を 5%以下とした。

④　高精度・高安定性分光部の開発

熱安定性や分光精度を考慮し、組立て作業性、耐久性及びメンテナンス性に優れた光分光ユニットを設計試作した。庫内の冷却方式は電子冷却とし、熱流体解析の結果から耐環境性に優れた筐体を設計、構築した。環境温度が１０～３０℃の範囲で光分光ユニット庫内温度が 20℃±0.5℃で維持することを確認した。

⑤　表示・操作部の開発

作業工程や作業環境における実用的で操作性に優れたモニタリング機構を設計した結果、7インチタッチパネルモニタで検査数や認識数及びシステム稼働状況を確認・表示する画面構成とするプログラムを開発した。

⑥　搬送並びに筐体の開発

毛髪探知に最適なベルト素材を選定し、搬送速度は毎分５m～１５mの範囲で容易に可変設定を行い制御する技術を確立する。搬送ライン上で光照射検出する庫内

は外光を 99%遮断する構造とする。また、食品製造施設に適した排熱及び防塵構造を検討し、食品製造加工環境に適した筐体を設計試作した。

⑦　毛髪探知装置の構築

毛髪探知装置は評価機と継続研究用の改良機を 2 台試作し、評価試験を実施した。

（2）データ取得方法に関する研究開発

①　光スイッチによる多点全方位測定、受光システムの開発

ライン上を搬送される食品のスペクトル情報を複数回、様々な位置から測定する多点全方位検出ユニットを試作した。また、光スイッチを最適制御するアルゴリズムを開発しプログラミングするとともに、積算測定による大量データを高速処理する技術を確立した。光スイッチは 4 チャンネル以上とし、計測する食品の形状及び搬送速度に対応して光路を 50ms 以下で切り換える制御を行った。

②　計測・制御部の開発

照射部、分光部、表示部、搬送部や演算制御、遠隔監視等について、認識精度、安定性及び耐久性を考慮した信号処理アルゴリズム、並びに判別システムソフトウェアを Windows XP Embedded 上で開発した。

③　組込みソフトウェアの開発

学習認識アルゴリズム（サポートベクターマシン）によるシミュレーションソフトを開発し、予め毛髪の混入あるなしの吸光度スペクトルデータから最適なサポートベクターマシンモデルとパラメータを特定した。モデルとパラメータの各情報はファイル形式で管理し、装置へ組み込むサポートベクターマシンの核となるプログラムとシステム制御、管理を効率的に処理するソフトウェアを開発した。

1－4　知的財産権等の取組状況

本プロジェクトにおける研究成果として次の特許を出願した。

特願 2013－306110「非破壊検査装置」

（出願日：平成25年2月20日）

【発明者】

【住所又は居所】　青森県黒石市田中89―9
地方独立行政法人青森県産業技術センター

【氏名】　岡山　透

【発明者】

【住所又は居所】　青森県十和田市大字三本木字北平 135-11
株式会社カロリアジャパン

【氏名】　花松　学

【発明者】

【住所又は居所】　青森県十和田市大字三本木字北平 135-11
株式会社カロリアジャパン

【氏名】　花松　憲光

【発明者】

【住所又は居所】　青森県十和田市大字三本木字北平 135-11

株式会社カロリアジャパン
【氏名】　三浦　克之
【発明者】
【住所又は居所】　青森県十和田市大字三本木字北平 135-11
株式会社カロリアジャパン
【氏名】　中野　寿樹

１－５　当該研究開発の連絡窓口

地方独立行政法人青森県産業技術センター
担当者　工業総合研究所　新エネルギー技術部長　岡山　透
電　話　017-728-0900　　FAX　017-728-0903
E-mail　tooru_okayama@aomori-itc.or.jp

第２章　本論

２－１　食品・毛髪の分析と認識検証

２－１－１　毛髪成分の帰属波長に関する基礎的研究

（株式会社カロリアジャパン）

（１）緒言

毛髪や爪などの主成分であるケラチンというタンパク質には、システインが２分子結合したシスチンが多く存在している。食品に近赤外光を照射して拡散する光から食品に混入する毛髪の有無を検知するには、毛髪特有の成分であるシスチンの吸収を測定認識する必要がある。

本研究では食品に探知に重要な毛髪成分組成のシスチンの帰属波長に関する検証を行う。また、シスチン帰属波長を用いるとともに、認識率を向上させるための特異波長を選定する。

（２）実験方法

黒髪及び毛髪の特徴組成成分であるケラチンを構成しているシスチンを FT-IR で吸収スペクトルを測定し、それぞれの吸収スペクトルを比較し、近赤外線波長域1100nm～2200nm での倍音波長の探索を行った。

測定試料は、市販の和菓子及び洋菓子等に 1cm 長にカットした毛髪を 1 本から20 本まで食品表面と内部に混入させ２５℃の恒温槽に６時間以上保管した。試料の測定は近赤外線分光分析装置（SpectraStar2500X／㈱ビーエルテック社）を使用した。毛髪混入なしと混入ありの判別式を１１００nm～２２００nm までの波長範囲で重回帰分析を行い、その選択波長及び判別率を求めた。

（３）結果と考察

毛髪の特徴組成成分であるケラチンを構成しているシスチン粉末と毛髪を FT-IR で吸収スペクトルを測定した吸光度スペクトルを図１と図２に示す。シスチン吸光度スペクトルにおける吸収ピークとこれらの波数の第 1、第２倍音に着目し毛髪判別のための判別式に用いる基準波長とした。2912cm^{-1} や倍音で類似波数（波長）のものがあり、シスチン由来の帰属波長で検量線構築の可能性があることを確認した。

次に、市販の和菓子及び洋菓子で毛髪混入なしと混入ありの判別式を重回帰分析で作成しその選択波長及び判別率の評価を行った結果、シスチン由来の帰属波長を用いた毛髪判別が可能であることを確認した。重回帰分析での判別正解率は82.6%～90.3%となり、シスチン帰属波長が有効であることを確認した（表１）。

（４）結言

・毛髪の特徴含有成分であるシスチンの基準吸収波長を調査し、その倍音の波長域にて食品の毛髪混入の判別が可能であることを確認した。また、重回帰分析による判別では、判別率 82.6%～９0.3%で判別可能であった。

・本実験では毛髪混入ありの判別率が毛髪混入なしの判別率と異なることを確認した。

（５）成果と達成率

・毛髪の特徴含有成分であるシスチンの基準吸収波長を特定し、その倍音の波長域

にて食品の毛髪混入の判別方式を確認した。

・達成率１００％

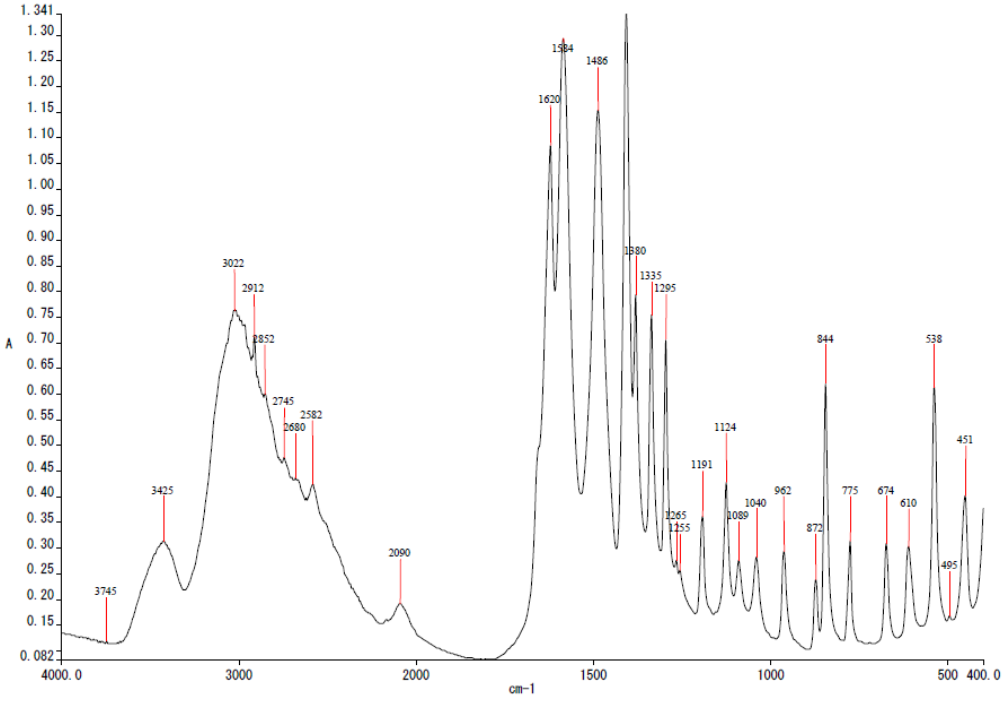


図 １　FT-IR シスチン吸光度スペクトル

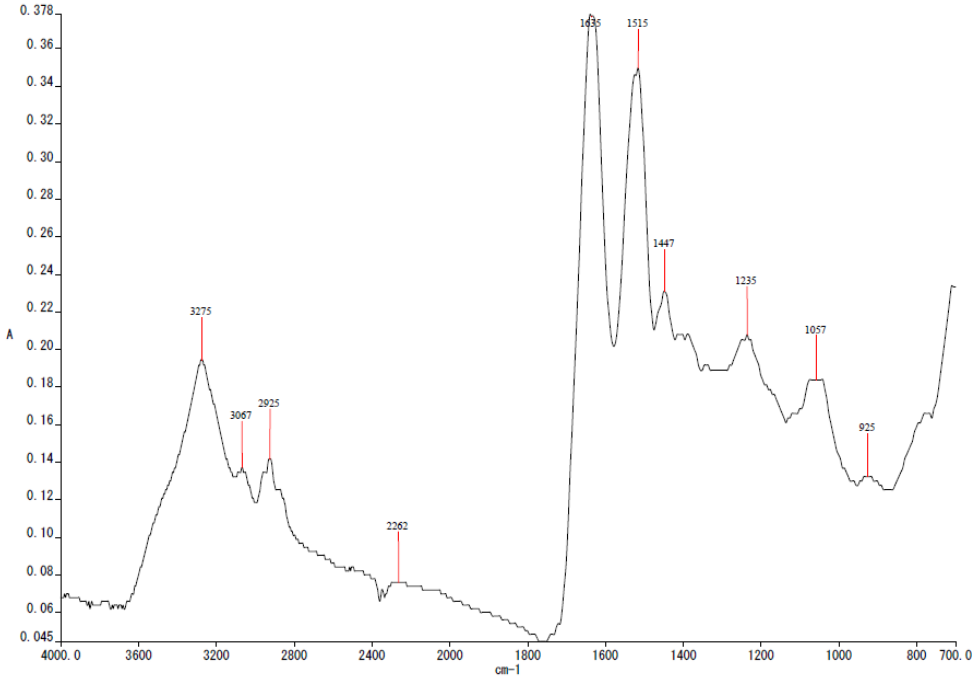


図２　毛髪の吸光度スペクトル

表１　重回帰分析での判別率結果

Group	毛髪混入	測定件数	正解数	正解率[%]	総合判別率[%]
①	なし	72	67	93.1	90.3
	あり	72	63	87.5	
②	なし	72	65	90.3	88.9
	あり	72	63	87.5	
③	なし	72	66	91.7	90.3
	あり	72	64	88.9	
④	なし	72	62	86.1	82.6
	あり	72	57	79.2	
⑤	なし	72	71	98.6	87.5
	あり	72	55	76.4	

２－１－２　近赤外照射及び受光機構の開発

（株式会社ワーロック）

（１）緒言

コンベアを移動する測定対象物にハロゲンランプにて一定の照射エリアで照射する光源と拡散光を集光する光学レンズを備え測定対象物に応じて受光範囲を調整できる受光機構を設計する。また、それらを対で複数備えた光源・集光ユニットに対し、シャッター機能を評価するとともに国内トラック輸送を想定した JIS 振動評価試験にて堅牢性を確認するものである。

（２）実験方法

測定対象物に光を照射する光源はコンベア載置面に対し鉛直上方に設置した。光源直下には光照射を切り替えるシャッターを装備した。光源は平行光タイプでリフレクタの開口径が 35mm、出力 20W のハロゲンランプ（ウェルチアレン社製）を使用した。コンベア載置面での照射範囲を直径 100mm とするためにハロゲンランプ開口を載置面より 220mm とした。

評価機において、放熱フィンでランプのコネクタ部を固定し、ランプ直下には電子シャッターを装着した。架台には同様の光源ユニットを ８ 個直列配置した。シャッターの駆動試験は電子シャッターの枠とランプの端子部分温度を測定するとともに、照射状態で開閉間隔を１秒とし 24 時間連続運転した。

毛髪探知装置の陸上輸送を行う場合、光源・受光部が最も振動の影響を受ける。そこで照射受光ユニットに対し、国内トラック輸送を想定した一般的な輸送環境を模擬するために、振動加速度、ピーク速度及びピーク変位がそれぞれ 5.8m/s^2、0.21m/s 及び 5.6mm の JIS に規定される振動試験（IS Z 0232 付属書 A 表 1 を行った。振動方向はユニットの３軸方向で各 30 分間加振した。

４連の照光及び受光ユニットはアルミ材の遮光板を作製しスライドレール上に固定した。ステッピングモータで遮光板に取り付けたワイヤーにてスライド駆動することでハロゲンランプからの光照射を制御する機構とした。

（３）結果及び考察

試作した照射及び受光ユニットの写真を図３に示す。

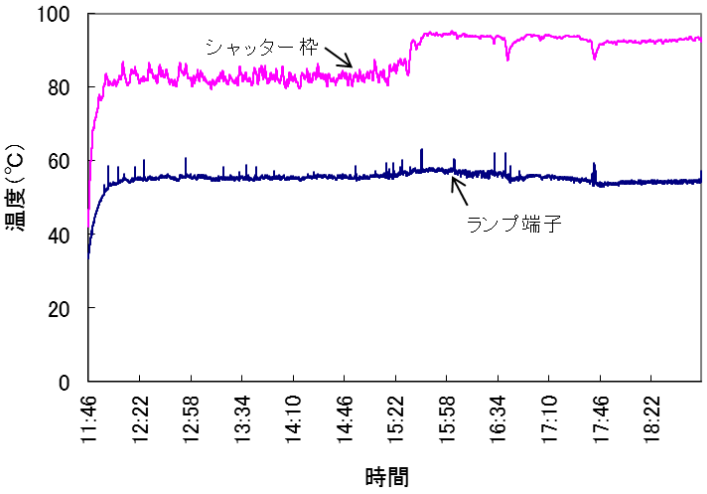
電子シャッターの開閉試験は、光源を点灯状態として２４時間連続運転した結果、電子シャッターの枠の温度は約３分で常温から８０℃に達した。その後３時間３０分後にシャッターの開閉面が熱膨張により閉まり時間が初期値より長く開閉不能となり動作異常を起こすことが判明した。一方、ハロゲンアンプの端子は７５℃で安

図３　８連式照射受光ユニットの概観

定推移しており放熱板の効果が認められた（図４）。

継続研究用の改良機は電子シャッターの替わりに遮光板にアルミ板をスライド移動させる機構とし、パルスモータで開閉した結果、開閉時間が 0.2ms で駆動できた（図５）。

光源及び受光レンズを８対連結した評価機は、JIS 振動評価試験にてランダム振動を適用した結果、フレームの堅牢性は確認できたが、ランプの照光軸のずれを確認した。振動試験の様子を図６に示す。



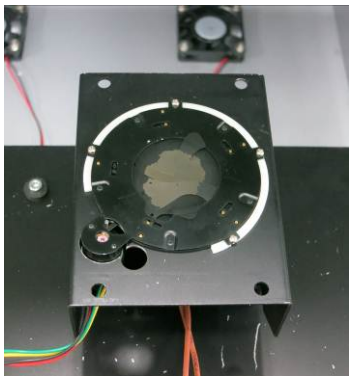


図４ 光源部位の温度と破損した電子シャッター（右）

（４）結言

・評価機用８連の照射及び受光ユニットを設計試作し、シャッター機能及び振動試験評価した結果、電子シャッターが熱で不能となることを確認した。

・評価結果を踏まえて、スライド機構を改良した継続研究用４連の照射及び受光ユニットを設計試作した。

（５）成果と達成度

・毛髪探知装置用の照射範囲及び受光範囲を設定する機能を有した照射、受光ユニットを完成した。

・達成率：100%

図５ ４連の照射ユニット

図６ 振動試験の様子

２－１－３　光ファイバー形状の開発

（地方独立行政法人青森県産業技術センター、株式会社カロリアジャパン）

（１）緒言

毛髪探知装置は、その構成上、コンベア上方で拡散光を光ファイバーに集光した後に光スイッチを介して分光器へ検出光を導入しなければならない。通常、光を受光し伝送する光ファイバーはそのコア径が大きいほど光量が増え光利用効率は良くなる。しかしながら装置内及び技仮スイッチ筐体内の引き回し状態で曲げに対する制限がある。光スイッチはチャンネル切換時間を考慮すると内部光ファイバーのコア径は 600μm が適当である。そこで装置内を断線無く曲げ、引き回しする適切な長さや被覆等を検討し設計する。

（２）実験方法

光ファイバーのコアの材質は赤外線波長領域での吸収が小さい石英系とした。受光ファイバー、光スイッチで使用するファイバー及び分光器に導入するファイバーは接続端子での光の減衰等を考慮し同一材質で同一形状が望ましいことから、曲げを判断するに容積の小さい光スイッチを想定して選定した。光ファイバーのコア径は 600μm、クラッド径は 660μm、ステップインデックスのマルチモード光ファイバーとした。光ファイバー両端部は SMA コネクタの平面研磨とし、ＰＶＣチューブ外装あるいはフレキシブルＳＵＳ鏡筒とした。

（３）結果及び考察

マルチモード光ファイバーの減衰率を図７に示す。波長帯域 1450nm から 2100nm においての減衰率は 0.5dB／km から 10dB／km である。毛髪探知装置のコンベア上部に位置する受光部から筐体下部の分光ユニットまでの光路長は、光スイッチ内の引き回し長を含めて 3m となる。したがって、伝送損失は 0.5%から 4.5%となる。改良機においては光ファイバーを光スイッチから直接引き出す仕様とすることで光スイッチの入出力での端子損失は無視できる。

（４）結言

・毛髪探知装置での光ファイバーの仕様を策定し、コア径が 600μm のテップインデックスのマルチモード光ファイバーを作製した。

・3m 長さでの伝送損失は波長帯域 1450nm から 2100nm で 0.5%から 4.5%であった。

（５）成果と達成度

・光ファイバーはコア径 400μm 以上とし、装置に使用する長さにおいて伝送損失を 5%以下とした。

・達成度：１００%

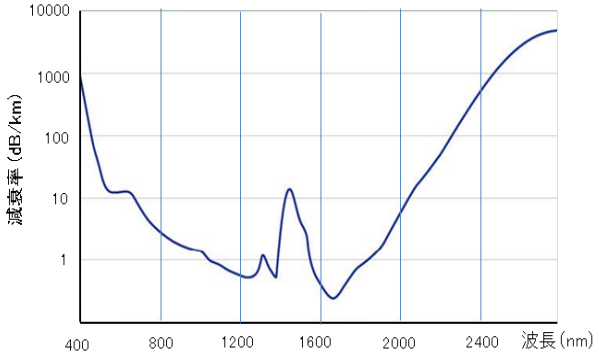


図７　マルチモード光ファイバーの減衰率

２－１－４　高精度・高安定性分光部の開発

（地方独立行政法人青森県産業技術センター）

（１）緒言

分光器は波長分散素子であるグレーティングと一次元の InGaAs リニアイメージセンサを組み合わせたミニ分光器（C9914GB／浜松ホトニクス㈱製）を利用し、RS232C シリアル通信に対応できるように改良した。ミニ分光器のセンサの素子数は 256 素子で検出長帯域は 1100～2200nm である。これまでスペクトル測定において、使用環境温度の影響で計測値に安定性を欠くことがわかっており、毛髪探知装置内への設置には恒温環境が不可欠であった。そこで、本研究課題にある安定性の良い分光器ユニットを試作した。

（２）実験方法

分光器を配置する恒温槽筐体は庫内寸法が 360×380×200mm の断熱仕様とした。配置する分光器はファン内蔵の 15W の熱源として設計した。断熱空間内の内部空気をペルチエ素子で電子冷却し、放熱及び吸熱側にはそれぞれ放熱板及び吸熱板を固定し空冷ファンを配置した。庫内空間の熱状態や電子冷却の適正位置は熱流体解析（熱設計 PAC／（株）ソフトウェアクレイドル）を行い設計した。

（３）実験結果及び考察

ペルチエ素子の両側に放熱効果の高いフィンを固着し、冷却効果を最適な設置位置の特定と庫内温度及び流速について熱流体解析を行った（図 8）。製作した分光ユニットを図 9 に示す。試作した分光ユニットの庫内中央に電対を装着し、設定温度を 20℃で PID 制御を行った結果、外気温度が 8.9℃から 31.5℃において庫内温度は 19.4℃から 20.5℃の範囲で安定に推移した（図 10）。

設定温度を 20℃設定とした場合の変動域内に収束する時間は、外気温度及び庫内温度が 27.0℃から冷却稼働させた結果、20.5℃まで約 15 分を要した。

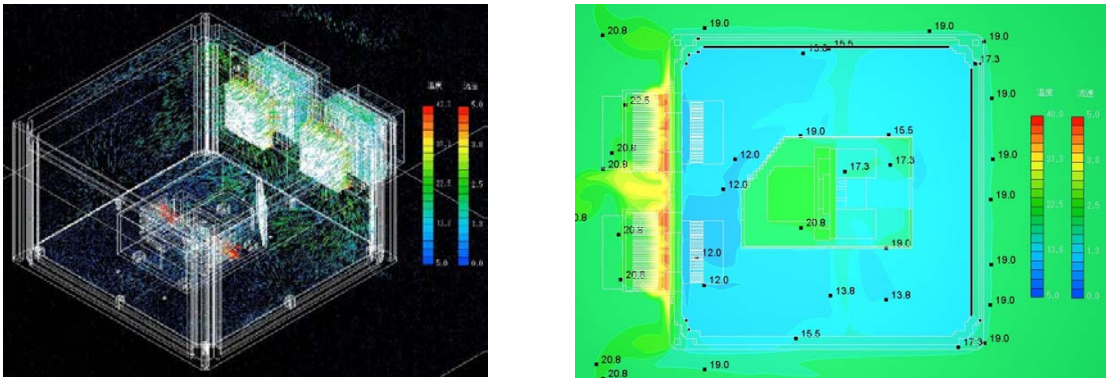


図８ 庫内の流速（左）と温度分布

図９ 分光ユニット概観

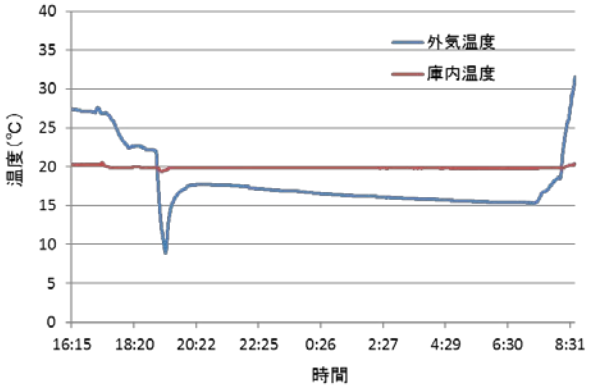


図１０ 庫内の温度推移

（４）結言

・分光器を設置した電子冷却機能を有した恒温槽を作製した。

・分光ユニット庫内の温度を監視するとともにペルチエ素子を PID 制御することで、外気温度が１０℃から３０℃の範囲において庫内温度は２０℃±0.5℃となることを確認した。

（５）成果と達成度

・設定可能で庫内の温度安定性が優れた分光ユニットの製造に成功し目標を達成した。

・達成度：１００％

２－１－５　表示・操作部の開発

（株式会社カロリアジャパン）

（１）緒言

毛髪探知装置に搭載し作業工程や作業環境における実用的で操作性に優れたモニタリング機構を設計するとともに、検査数や認識数及び各ユニットのシステム稼働状況を表示するソフトウェアを開発する。

（２）実験方法

システムの起動と検査状況及び結果を可視化するモニタとして、筐体面上部に 7 インチモニタを設置固定し、設定値の入力や構成する部位を個別に稼働させてその機能性を確認できるようにタッチパネル仕様とした。画面構成や設定様式はグラフィカル言語（LabVIEW／National Instruments 社製）で開発した。

（３）結果及び考察

メイン画面は作業状況を確認する構成とし、コンベア上にカメラを設置したことで、毛髪混入の有無のカウントと測定データのスペクトル波形及び測定面での画像を表示した。また、同一画面で分光器の起動管理及び運転状況は画面下部のメッセージ欄とインジケータによって確認できるものとした（図１１）。

また、検量線評価画面は分光器の起動状況の確認と認識プログラムであるサポートベクターマシンのほか、検量線を登録することで判別結果を比較することができる。IO 制御画面は作製した IO 専用基板を介しての各構成部位のオンオフやセンサの状態をインジケータで表示させ、出力ランプの起動、シャッターの開閉動作、コンベアライン上の光センサの状況を確認できた。

光源ユニットではハロゲンランプの点灯状態の監視やスライドシャッターの駆動方向、距離、速度及び切換時間を任意設定でき、個別に制御した。

（４）結言

・７インチタッチパネル上で測定状況のモニタリング、ランプ、シャッター、分光器の稼働及びメンテナンスに適したパネルを有する制御プログラムを作成した。

（５）成果と達成度

・作業工程や作業環境における実用的で操作性に優れたモニタリング機構を設計した結果、７インチタッチパネルモニタで検査数や認識数及びシステム稼働状況を確認・表示する画面構成とし、機能別に操作できるものとした。

・達成度：100%

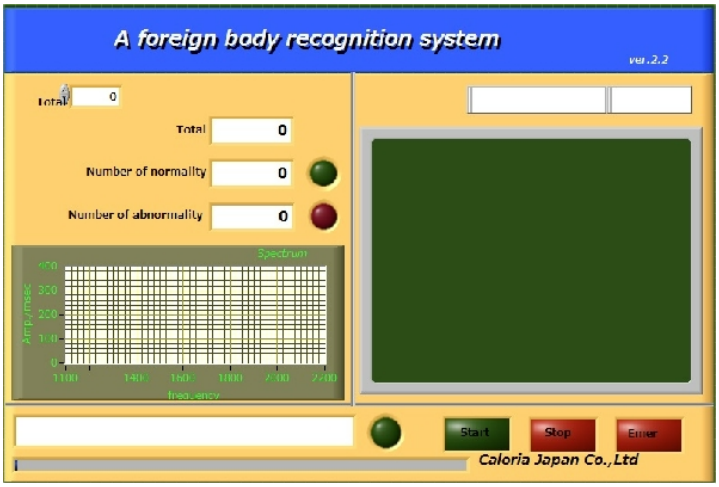


図１１　メイン画面

２－１－６　搬送並びに筐体の開発

（旭光通信システム株式会社）

（１）緒言

食品製造工程では加工製品によってライン速度が異なり、また、移動速度が 20m/min 以上の高速処理作業が増えている。本毛髪探知装置は微弱な光検知と近赤外線分光技術で毛髪の有無を検知するため、照射するハロゲンランプ以外の近赤外領域での外光を遮断する必要がある。また、筐体概観は食品製造加工環境に適したものだけでなくデザイン性をも要求されるため、機能性とデザイン性を考慮した筐体を設計試作する。

（２）実験方法

搬送機構はベルトコンベア、変速仕様でブラシレスモータを採用した。搬送速度は 20m/min 以上の高速搬送を可能とし、ベルトは食品搬送に適した、ホツレ防止、耐湿熱、低収縮及び防カビの機能を有することとした。さらに筐体内に収納しやすいドライブ機構をコンベア中央に位置し、24 時間運転に耐えうる蛇行レス機能と乗り入れを容易とするナイフエッジ機構とした。

評価機筐体は、骨材及びパネル部材は全てステンレス材とし、コンベアのメンテナンス及び洗浄が可能となる上部フードの開閉を可能とした。また、フードとコンベアの入出力に装着する遮光カバーを一体化した。遮光性はハロゲンランプを 8 台点灯し全て電子シャッターで照射を遮光してベルトコンベア上のセラミック板からの反射光を分光器で測定した。継続研究用の改良機においては食品加工製造環境での対応と製品化を目的に、外見上、固定ビスや突起のない構造をコンセプトにデザイン設計を行い、小型軽量化を図った。

（３）結果及び考察

コンベアの搬送速度は食品加工に適したギヤ比を選定した結果、搬送速度は 0.25～24.5m/min の範囲でスピードコントローラによる設定ができ、低速から高速までの対応可能となった。

評価機はコンベア上部のフードを遮光カバーと一体化したため、自重でヒンジ部への負担により開閉時にヒンジ部に撓みが生じた。

室内蛍光灯下でフードの解放時と閉じた場合でのコンベア上の拡散光を測定した結果、遮光時及び分光器の暗電流の出力は 1100nm から 2200nm の近赤外領域において４９００±110 カウント及び 4870±120 カウントで暗電流と同レベルで完全に遮光されていると判断できた（図 12）。

継続研究機ではフードの開閉はスライド機構として負荷なく開閉できた。遮光カバーは樹脂材料等で成形加工することで軽量化する必要がある

コンベア下部には電源板、制御機器及び分光ユニットを配置でき、骨材へのパネル板の固定は筐体内側からのボルト留めとし、また、固定ビスにはパネルが重なる組立構造とした結果、外見上固定ビスの全く見えない構造となった。評価機及び継続研究用装置を図 13 及び図 14 に示す。

（４）結言

・毛髪探知に最適なベルト素材を選定し、搬送速度は毎分 0.25m/min～24.5m/min の範囲で可変設定が可能で速度を制御する技術を確立した。

・搬送ライン上で光照射検出する庫内は外光及び光源漏れによる迷光を 99%以上遮断できた。

（５）成果と達成率

・搬送速度及び外光の遮断効果に優れた毛髪探知装置用の搬送筐体を開発した。

・達成率：１００%

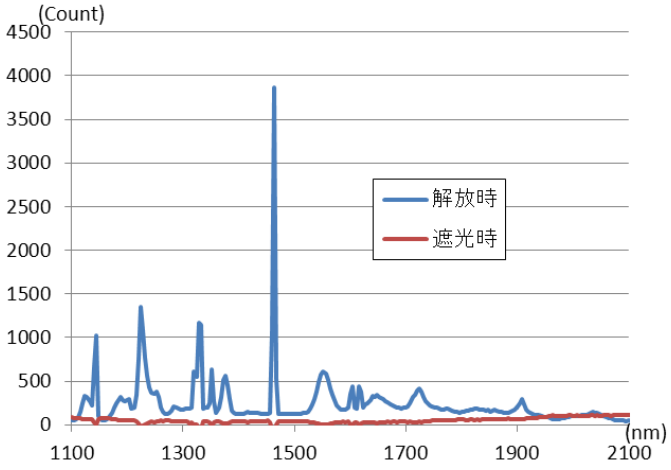


図１２　評価機の筐体概観

図１３　評価機の筐体概観

図１４　継続研究用の筐体概

２－１－７　毛髪探知装置の構築

（地方独立行政法人青森県産業技術センター、株式会社カロリアジャパン）

（１）緒言

毛髪探知装置は主に光源部、受光部、分光部、制御部、ベルトコンベア及び電源で構成されている。光源部及び受光部は照射・受光ユニットとして一体化構造とした。また、分光部は温度制御された恒温ボックス内に分光器を配置した分光ユニットとして構成されている。

ノイズを発生させる機器としてスイッチング電源や汎用インバータがある。電源内部にあるフィールドエミッショントランジスタ（FET）やバイポーラトランジスタ（IGBT）等のスイッチング素子は高周波でスイッチング動作しており、主なノイズ発生源となっている。そこで電源のＡＣラインに人工ノイズを印加して動作評価した。

（２）実験方法

（２－１）装置の構築

毛髪探知装置内部の機器構成を図１５に示す。熱源となる部位にはハロゲンランプを搭載する光源部、温度管理を行う分光部、及び電源がある。それらの熱は送風ファンで強制的に筐体外部に排出する機構とした。 分光スペクトルの測定はコンベア上の測定対象物からの拡散光を受光部に取り付けた光ファイバーに集光し光スイッチを経由して分光器に導入した。制御部はシステム制御プログラム及び認識プログラムを組み込んだファンレスＰＣとＩ／Ｏ制御回路及び分光器温度管理基板を配置した。また、本体装置の各構成部材に供給する電源は、パソコン及び基板回路用の 12V 及び 5V 出力のスイッチング電源、恒温ボックス冷却のためのペルチエ素子用電源、分光器内の制御回路と分光センサ素子冷却用の電源、及び光源用電源を用意した。ハロゲンランプは点灯時のタングステンフィラメントを高温とするため、点灯前の常温状態ではフィラメントの抵抗が小さく、電圧を印加した瞬間には、定格電流の 5～10 倍程度の突入電流が流れ悪影響を与える可能性があるため、光源用電源は突入電流を抑える立ち上がり時間を 1.5s のソフトスタート制御とし、突入電力を 30A 以下とした。

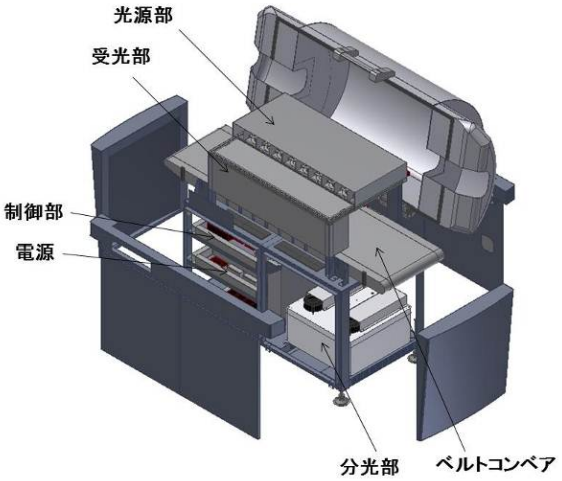


図１５　内部構成

（２－３）ノイズ評価試験

構築した評価機において、各種電源ノイズの評価試験を行った。高周波ノイズ及びパルス性ノイズは、（ＭＯＤＥＬ５０００Ｓ／ノイズ研究所）を用いた。さらに、サージノイズは高エネルギーの誘導雷ノイズを再現する雷サージ試験機（LSS-15AX）を用い、電子機器の誤動作及び機能低下について性能評価した。

（３）結果及び考察

（３－１）構築した継続研究用の装置の内部機構、結線状態及び概観を図 16 に示

す。コンベア下部には分光器を内蔵した恒温ボックスと電源基板及び制御基板を配置した。
（３－２）筐体フードの重量を軽量化する目的で、コンベアの入出口にあたる遮光カバーは ３ 次元設計データをもとに樹脂造形装置（FORTUS360mc-S／Stratasy 社製）を用いて ABS 樹脂材で作製した。カバーの肉厚を 5mm とし、カバー面からの光の透過と開口からの光入射を防ぐため、背面に 0.5mm のアルミシートを接着するとともに食品の形状に合わせた通過樋を装着可能となった。
（３－３）交流 100V の AC ラインに印加した高周波ノイズに対する各電源の出力値に発生したノイズのピークピーク値を図 17 に示す。入力値が 10V では分光器との通信エラーを確認した。また、電源週力にパルス性ノイズを印加したところ、各々の直流出力レベルに同期したパルスノイズが発生したものの負荷側への影響は無かった。サージ性ノイズは 10kV、0.5μsec のインパルスを印加したところ、各電源と分光器の破損を確認した。改良機にはバリスタやアレスタなどのサージ対策素子が電源ライン間や電源ライン-アース間に使用する必要がある。
（４）結言
・評価機及び継続研究用を組立て完成した。
・評価機においてノイズ評価試験を実施した結果、高周波ノイズで負荷側に部分的異常を確認し、サージ電圧で電源及び分光器の破損を確認した。
（５）成果と達成度
・毛髪探知装置を２台作製し、評価機でノイズ試験を行うことで限界値を確認した。
・達成度：100%

図１６　継続研究用装置概観と内部構成機器の様子

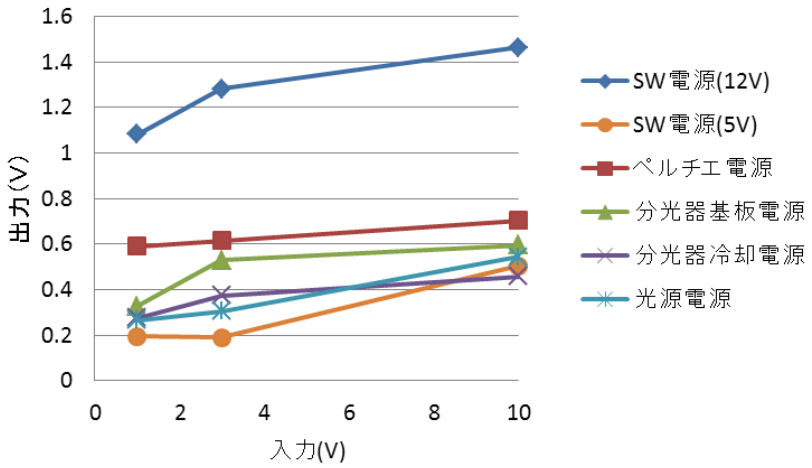


図１７　高周波ノイズのP-P値

２－２　データ取得方法に関する研究開発

２－２－１　光スイッチによる多点全方位測定、受光システムの開発

（地方独立行政法人青森県産業技術センター）

（１）緒言

食品混入の毛髪の認識精度向上の要因の一つに、測定データの信号対雑音比（S／N）を高めることがある。通常、対象物の分光スペクトルの S／N を高めるために可能な限る長時間測定が必要となる。本毛髪探知装置は測定対象物である食品がコンベアにて移動する機構を利用し、コンベアの移動方向に沿って複数箇所で拡散光を受光することとした。光源の照射部と受光部の対構成を評価機で８機、改良機においては４機を設置した。照射タイミングはハロゲン光源下のシャッターを開閉するが、分光器 1 台で検知するには受光を切り替える必要がある。そこで、本装置に搭載できる光スイッチ装置を設計製作した。

（２）実験方法

光スイッチは入力を４乃至８チャネル、出力を１チャンネルとし、ピエゾ駆動で同期制御することで複数チャンネルから１チャンネルを選択した。接続する光ファイバーはコア径 600um の石英系光のマルチモードファイバーを採用し、コネクタは SMA 端子とした。改良機の光スイッチの筐体はアルミケースとし内部で石英光ファイバーにストレスがかからないよう、可能な限り小型形状とし、筐体より引き出した光ファイバーはＳＵＳフレキシブル鏡筒とした。

（３）結果及び考察

評価機は８チャンネルとし筐体にＳＭＡコネクタを配置したことで任意のファイバーを接続でき、光路の切替を可能とした。光スイッチの内部構成は図 1 に示す。入力端子に光源を接続しシリアルポートで任意チャンネルを切替え、出力光をパワーメータで光量確認した結果、各チャンネルでの 100%透過までチャンネル間の切り替え時間は 40msec であった。

次に、継続研究用の改良機において、入力を４チャンネル仕様で光ファイバーを筐体内部から引き出す機構とし、光ファイバー長は入力及び出力側でそれぞれ 1.5m 及び 1m にした結果、筐体寸法を８チャンネル機の 440x340x90mm から 287x125x40mm の小型筐体で製作できた（図１８）。

（４）結言

・４チャンネルの光スイッチを試作した。また、光スイッチを制御するプログラムを作成し動作検証した結果、積算測定による大量データを高速処理する技術を確立した。

・光スイッチは４チャンネル以上とし、計測する食品の形状及び搬送速度に対応して光路を40msで切り換える制御を行った。

図１８　光スイッチ（４チャンネル）の概観

（５）成果と達成度

・光ファイバーを 50ms 以下で切り換える光スイッチを作製した。

・達成度：100%

２－２－２　計測・制御部の開発

（株式会社カロリアジャパン）

（１）緒言

毛髪探知装置はコンベア上に流れてきた測定対象物をコンベアの移動方向に沿って設置した４から８ヶ所で最適なタイミングで光を照射するとともに、測定対象物からの拡散光を検知しなければならない。さらに、分光センサにてスペクトルデータをパソコン内に集録する必要がある。

分光器は RS232C シリアル通信に適用するようにカスタマイズした。また、光源は安定性及び寿命を維持するため、常時点灯するものとし、シャッター機能で照射調整する様式とした。

（２）実験方法

毛髪探知装置の各ユニットを制御するプログラムはファンレスの組込用コンピュータに搭載した。OS は Windows XP Embedded をベースとし、装置の電源投入後にシステムを起動させて各機能を順次チェックする。システムチェックは、電源、光源、シャッターの起動状態を確認するものとした。

各ユニット機構との通信は、分光器の制御と分光データの集録は指定コマンドの送受信を RS232C シリアル通信にて行い、光源シャッターの開閉は評価装置では 35mm 開口の電子シャッターをオンオフ制御した。また、改良機に搭載のスライド形式の遮光板は２層ステッピングモータ駆動とし、通信はシリアル･ペリフェラル･インタフェース（Serial Peripheral Interface, SPI）制御とした。

（３）結果及び考察

（３－１）システム制御

本システムは組込みＰＣにより光源・受光ユニット、光スイッチ、７インチタッチパネルモニタ、USB カメラ、コンベア及び分光器ユニットを制御した。USB を介したコンベア、シャッター及び表示器のオンオフ制御とデジタルＩＯデバイスへの連携は専用の制御回路基板を作製した（図 19）。制御系を図 20 に示す。

図 19　制御基板回路

システムは装置の起動後に、各機構の初期設定、システムチェック、分光器起動及び光源の点灯を行い、命令待ちとなる。モニタではコンベア起動、終了作業モード、及びタイムスタンプや各機構のマニュアル制御などの設定モードの選択により、それぞれのルーチンへと進む。また、コンベアの緊急停止等のシステム非常時に係わるルーチンはシステム稼働アプリケーションとは独立に監視する構成とした（図３）。分光器は環境温度により動作安定状態まで数分から数十分を要するため、起動後は分光ユニット内の温度は２０℃設定で PID 制御するとともに分光データのモニタリング及び分光器の状態監視を行った結果、約２分で安定状態となった。制御系統を図２１に示す。

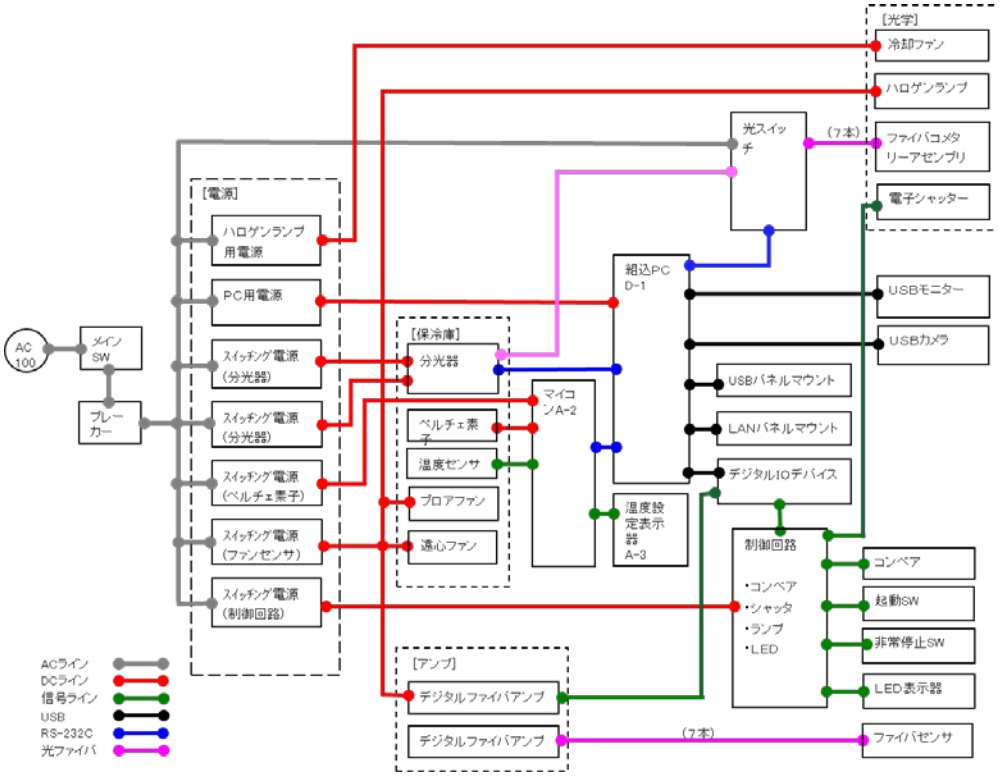


図 20　制御系統のブロック図

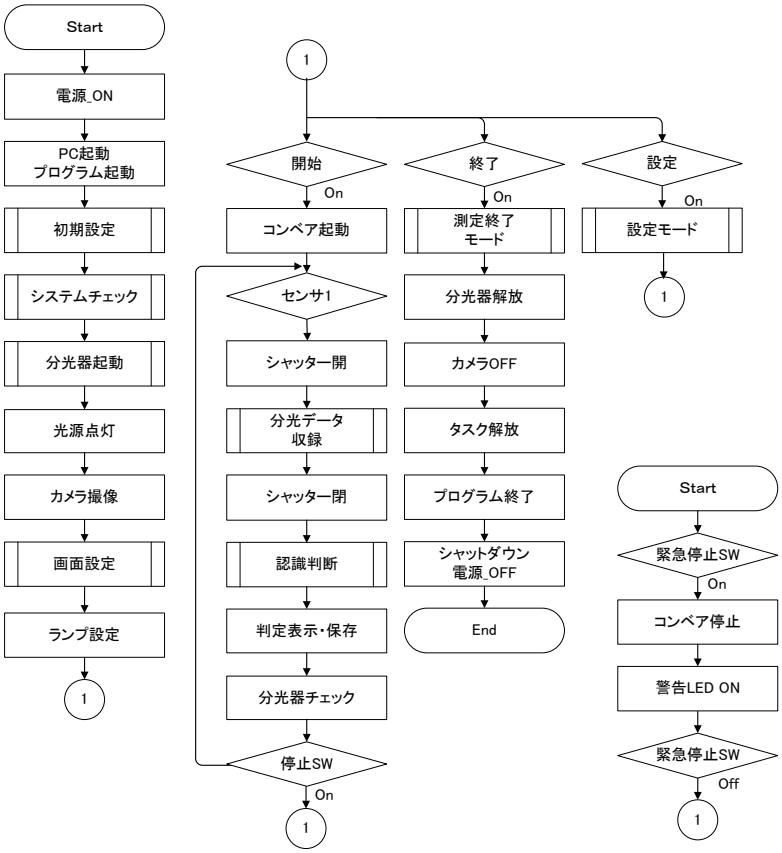


図２１　システム制御フロー

（３－２）分光器制御

分光器の通信プロトコルのシリアル通信では、分光器とのデータ誤り検出は 16 ビットのチェックサムを使用した。このチェックサムは、パケット（チェックサムを除く）の全バイトの合計値の下位 16 ビットを使用した。また、コマンド送信後に分光器から一定時間内に応答が無い場合タイムアウトとして処理した。

分光器とのシリアル通信コマンドフォーマットは、制御コマンドフォーマット、レスポンスフォーマット及び測定データ転送の 3 形式の通信コマンドとした（図 22）。通信は、リトルエンデアン（ＬＳＢ→ＭＳＢ）にて行なうものである。

①【制御装置→分光器】制御コマンドフォーマット
制御装置から分光器を制御・監視するために使用する。

Command 16bit	Data Size 16bit	Data	Check Sum 16bit

Command 16bit：コマンドコード
Data size 16bit：[Data]部のバイト数
Data：任意 送受信データ
Check Sum 16bit：[Command]～[Data]のチェックサム

②【分光器→制御装置】レスポンスフォーマット
制御装置からの「制御コマンド」の返信に使用する。

Command 16bit	Data Size 16bit	Status 16bit	Data	Check Sum 16bit

Command 16bit：コマンドコード（各種制御装置からのコマンドコードと同一のものを返す）
Data size 16bit：[Data]部のバイト数
Status 16bit：受信コマンドの処理ステータス（エラーコード）Ack/Busy/Error等は、ここにセット。
Data：任意 送受信データ
Check Sum 16bit：[Command]～[Data]のチェックサム

③【分光器→制御装置】測定データ転送
分光器で計測したデータを制御装置に送信するために使用する。

Data	Check Sum 16bit

Data センサ画素数×2byte：分光器測定データ
Check Sum 16bit：[Command]～[Data]のチェックサム

図２２　通信コマンドフォーマット

（４）結言

・通信専用回路基板を作製するとともにシステム制御プログラムを作成し工業用ファンレス PC に組込み検証した結果、システム各機能の円滑な稼働を確認した。

・分光器を RS232C シリアル通信方式とし、Windows 対応の専用ドライバを要せずに制御及びデータ集録する技術を確立した。

（５）成果と達成度

・毛髪探知装置を構成する照射部、分光部、表示部、搬送部との通信様式及び信号処理アルゴリズムを構築し、システム制御ソフトウェアを開発した。

・達成度：100%

２－２－３　組込みソフトウェアの開発

（地方独立行政法人青森県産業技術センター、株式会社カロリアジャパン）

（１）　緒言

食品中に毛髪が混入しているかの認識判断は、学習認識アルゴリズムとしての識別能力の高いサポートベクターマシン（Support vector machine：SVM）を採用した。サポートベクターマシンは２群の分類問題を解くためのアルゴリズムの一つである。線形の識別アルゴリズムであるが、カーネルを組み合わせることによって非線形の分類に対応できることが知られている。現在では文字認識や画像認識などの分野で広く実用化され、高い識別能力及び汎化能力を示すことが実証されている。

本事業で開発する毛髪探知装置にサポートベクターマシンのコアプログラムを組み込むにあたり、汎化能力の高い SVM モデルを作成するとともに、測定対象物から検出する分光スペクトルから毛髪の有無を認識するプログラムとする必要がある。

（２）実験方法

SVM を用いてパターン認識を行うにあたり、高い汎化能力を実現するためにカーネル関数やマージンパラメータなどの各パラメータ値を求めるモデル選択を行った。分光スペクトルを学習データとして扱うことができる SVM シミュレーションソフトウェアを作成した。

学習データは市販の菓子とその菓子に毛髪を混入調製したものに対して近赤外分光スペクトルから算出した吸光度とした。シミュレーションソフトにおいて学習データ及びタイプする結果を入力し、二次微分等の前処理を施した後、関数とパラメータを任意に設定し認識効果の最も高い SVM モデル構築した。

毛髪探知装置に組み込んだ SVM ソフトウェアはベルトコンベアにて移動する測定対象物を適切なタイミングで測定した分光スペクトルから吸光度を求め、SVM モデルを構築した際と同様の前処理を行い、予めファイル化した SVM モデルを利用し認識結果を出力することとした（図２３）。

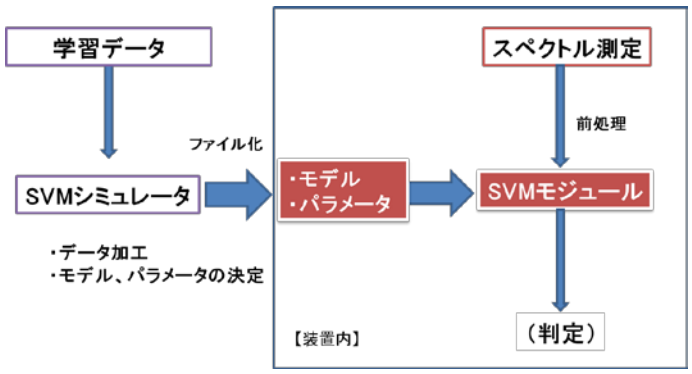


図２３　認識方法

（３）結果及び考察

シミュレーションソフトウェアは学習及びテストデータの入力と前処理、カーネルとパラメータの設定、主要パラメータを組合せによる最大識別率の算出、及び結果に検証ができるものとした。SVM シミュレーションソフトウェアで RBF カーネルを用い、モデル選択はγ及びマージンパラメータ C を選ぶべき離散的な値を決めて、すべてのγ及び C の組合せに対しての SVM の汎化能力を推定し最も高い汎化能力となるγ及び C 値を決定して SVM モデルを決定した。汎化能力の推定値は k 分割交差検定法を行い、教師データから求めた検定データに対する認識率とした。

測定サンプルは、市販のシュークリーム、一口まんじゅう、エクレア及び即席麺とし、サンプル数を３２０から１２３０個の 1 割に毛髪を混入させ測定した結果、光スイッチのチャンネル数よる SVM 判別結果を図 24 に、判別分析と SVM との判別成績を図 25 に示す。

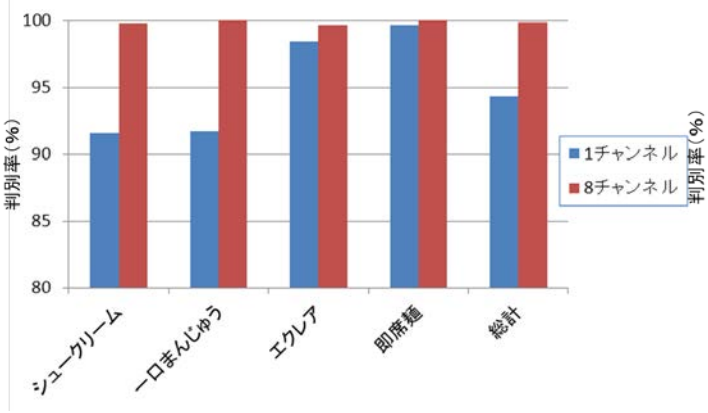


図２４　SVM で判別成績

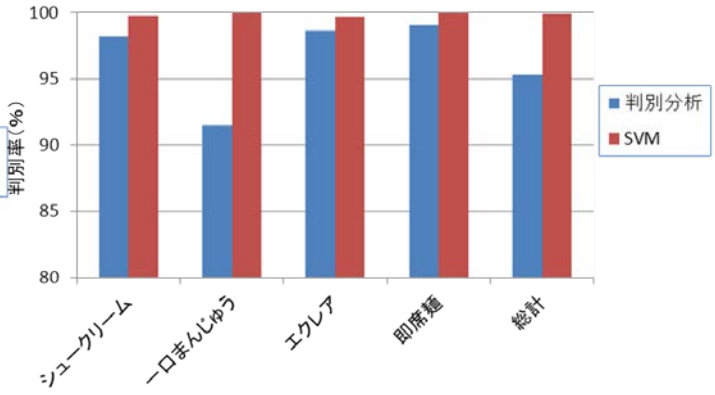


図 25　判別分析と SVM による判別成績

（４）結言

・SVM シミュレーションソフトウェアを作成し、SVM モデルを選定する技術を確立した

・毛髪探知装置で市販の菓子を測定認識した結果、判別率は SVM が判別分析より高く、光スイッチ装置を用いた８チャンネルが１チャンネルより高いことを実証した。

（５）成果と達成度

・スペクトルデータからサポートベクターマシンでの最適なパラメータの自動決定を行うためのアルゴリズムを確立するとともに学習モデルから識別検査するプログラムを作成した。（地方独立行政法人青森県産業技術センター）

・システム制御、表示、記録及び通信を効率的に処理するアルゴリズムを確立し、毛髪探知装置で９９％以上の判別率を得た。（株式会社カロリアジャパン）

・達成率：100%

最終章　全体総括

本事業で開発した毛髪探知装置は食品の表面のみならず内部に混入した毛髪を検知する従来にない画期的な装置である。本研究開発で高度化目標に係る「高品質課題への対応」を実施した。

従来の画像認識方法から、ハロゲンランプを光源として近赤外スペクトル分析する機構を構築することで、食品内部の毛髪を検査する技術を確立した。

近赤外線分光法による食品混入毛髪の非破壊探知装置の開発において、毛髪成分の帰属波長に関する基礎的研究を行い、近赤外領域における特異波長を確認決定した。また、赤外照射及び受光機構を開発において、ハロゲンランプと拡散光の集光レンズの最適配置条件を設計し、シャッター機能を備えた 4 連若しくは８連の照射・受光ユニットを設計製作した。測定対象物に対する光利用効率を最大とする照射範囲及び受光範囲を設定する機構と制御について、「非破壊検査装置」（特願 2013－306１０／出願日：平成２５年2月２０日）で特許出願した。

一般に分光器のスペクトルデータの安定性は測定環境温度に影響を受ける。安定的なスペクトルデータを集録するため、専用の恒温ボックスを設計製作し設定温度±0.5℃の制御に成功した。また、測定対象物の検出データの精度を上げるに多点測定及び積算測定を行い、S／N を高める必要がある。分光器を１台に対し、複数箇所の検出ファイバーを利用するために、光ファイバーを利用した専用の小型光スイッチ装置を作製した。また、複数な食品の加工製造ラインで使用するため、搬送速度が 25m/分まで可変するベルトコンベアとモニタ機能を装備した筐体を設計開発した。

汎化能力の優れた学習認識アルゴリズムであるサポートベクターマシンのシミュレーションソフトウェアを作成するとともに、装置にサポートベクターマシンを実装することによって、食品に混入した毛髪の判別率を 99 %以上を達成した。

今後、【２．短納期課題への対応】及び【３．低コスト化課題への対応】について実施する計画である。