

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「3次元画像計測手法を用いる錠剤分包機用計数技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社つくば研究支援センター

目 次

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
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第 2 章 本論

- 2-1 錠剤係数に適した光学系および装置の開発(1)
 - 2-1-1 光学系の開発
 - 2-1-2 照明方法および照明装置の開発
- 2-2 3次元画像認識による錠剤計数ソフトウェアの開発
 - 2-2-1 3次元計測情報統合ソフトウェアの開発
 - 2-2-2 錠剤検出ソフトウェアの開発

最終章 全体総括

- 研究成果
- 研究開発後の課題
- 事業化展開
- 結び

図表

第1章 研究開発の概要

錠剤分包機による誤処方が発生する大半の事例では、袋の密封前に隣接する袋に誤って錠剤が入れることにより発生しており、錠剤数の計数のみでほとんどの異常が検出できる。そこで分包機に指示された数と袋内の錠剤数を比較し、疑わしい場合について担当薬剤師に警報を出し注意を促すシステムの実現を目標とする。

平らな袋に対して、錠剤が重なっている状態も検出可能とするため、袋の両側面からステレオカメラで撮影し、3次元で錠剤を画像認識するソフトウェアを開発する。さらに両側面の3次元情報を統合し、同一の錠剤なのか、重なった異なる錠剤なのかを識別することで、正確な計数ができるソフトウェアを開発する。

ソフトウェアの安定した性能を引き出すため、袋表面の反射を防止できる照明装置と、計数装置の設置スペースおよびコストが限られることから、両側面を同時に撮影できる光学系、および小型化に適したステレオカメラを改良開発する。

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

医療用調剤薬局および病院の調剤所では、患者が服用する単位ごとに、錠剤を調合して処方している。現在、自動錠剤分包機製造業者等が供給している錠剤自動分包機によりほとんどの作業を自動化することが可能となっている。しかし処方での誤りが許されないことから、袋毎の錠剤数と種別は薬剤師による目視確認作業が必要であり、この作業負担や見逃しが課題となっている。

この課題について、これまで目視に代わる方法として、2次元の画像処理でも試みられてきたが、錠剤が複数重なることや、同一の袋に大きさ、色、形状の異なる錠剤が同封されるといった、問題から錠剤の種別判定はもとより、個数の正確な計数も困難とされている。

(2) 研究目的

本研究開発の目的は、薬局や病院で使用されている錠剤自動分包機による分包された錠剤を数える技術確立することである。この方法の確立により、誤りを防ぐために薬剤師が目視によって数える負担を低減することを可能にする。

(3) 研究目標

① 組込みソフトウェアに係る技術において達成すべき高度化目標

A) 安全性の確保

自動錠剤分包機製造業者が薬局および病院向けに出荷する自動錠剤分包機では、数百種の錠剤を、各患者の服用単位に分けて、自動的に袋に分包し処方するようになっている。現在は分包後に袋毎の錠剤数と種別を薬剤師がすべてを目視により確認する作業が必要であり、薬剤師にとってのこの負担の軽減と、目視検査による見逃しをなくすることが課題となっており、この目視確認作業をバックアップする新たな検査システムが求められている。

B) 高性能化・機能の向上

この課題を解決するため、分包機内に分包後の錠剤数を計数する装置を新たに開発する。これまで2次元の画像処理でも試みられてきたが、錠剤が複数重なることや、同一の袋に大きさ、色、形状の異なる錠剤が同封されるので個数の正確な計数は困難であるため、3次元画像処理による立体計測手法により計数する技術の確立を目指す。

② 技術的目標値

A) 3次元画像認識による錠剤計数ソフトウェアの開発

A)-1. 錠剤検出ソフトウェアの開発

錠剤を対象として、円筒形、碁石形のものを対象として開発を行い認識可能とする。誤認識が発生する可能性の高い一部錠剤については除外することとし、薬局で処方される錠剤から100種を選択し、そのうち90%以上が正常に計数できることを目標とする。

一包内に含まれる錠剤数は10錠までとする。この条件下で誤り計数の発生について1%以下を期間内の目標とする。

A)-2. 3次元計測情報統合ソフトウェアの開発

統合時に3次元の全方向に対して1mm以内での誤差で動作することを目標とする。

B) 錠剤計数に適した光学系および装置の開発

B)-1. 照明方法および照明装置の開発

A)-1.で記した条件下で、一方のステレオカメラのみを使用した場合の錠剤検出率を90%以上とする。

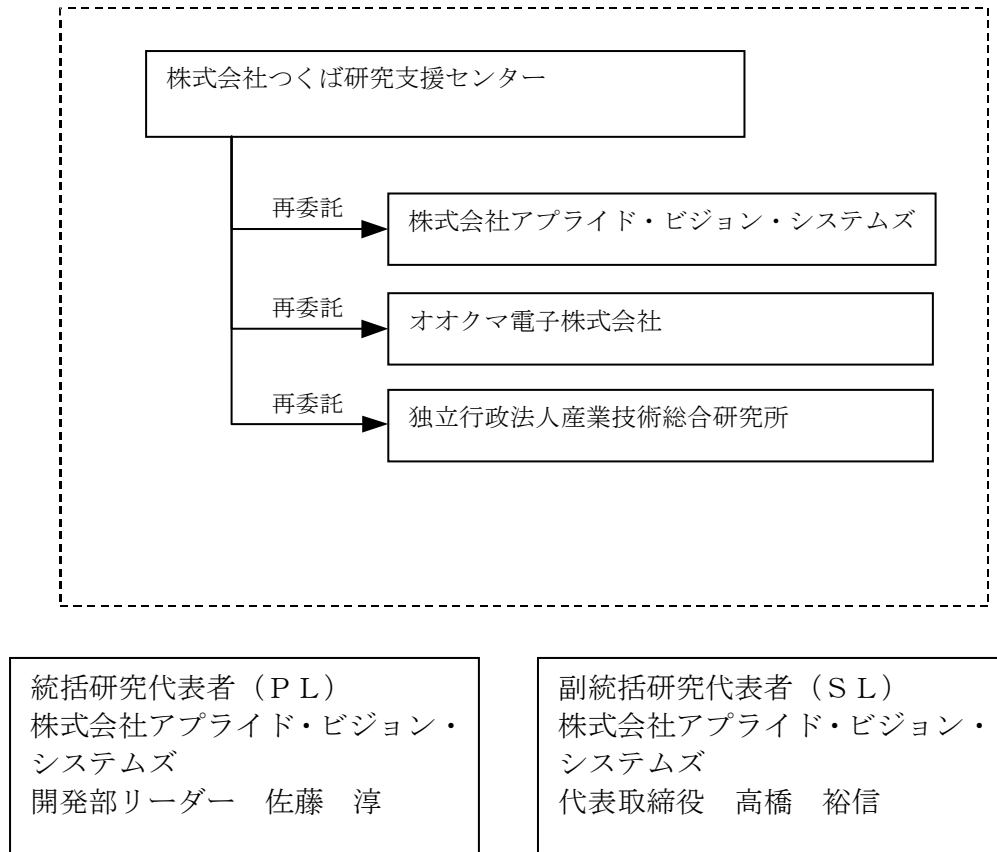
B)-2. 光学系の開発

A)-1.に記した条件およびA)-2.に記した双方の条件を満たす光学系とする。またステレオカメラについてはXGA（1024×768）以上の解像度でエッジが安定して検出することを目標とする。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

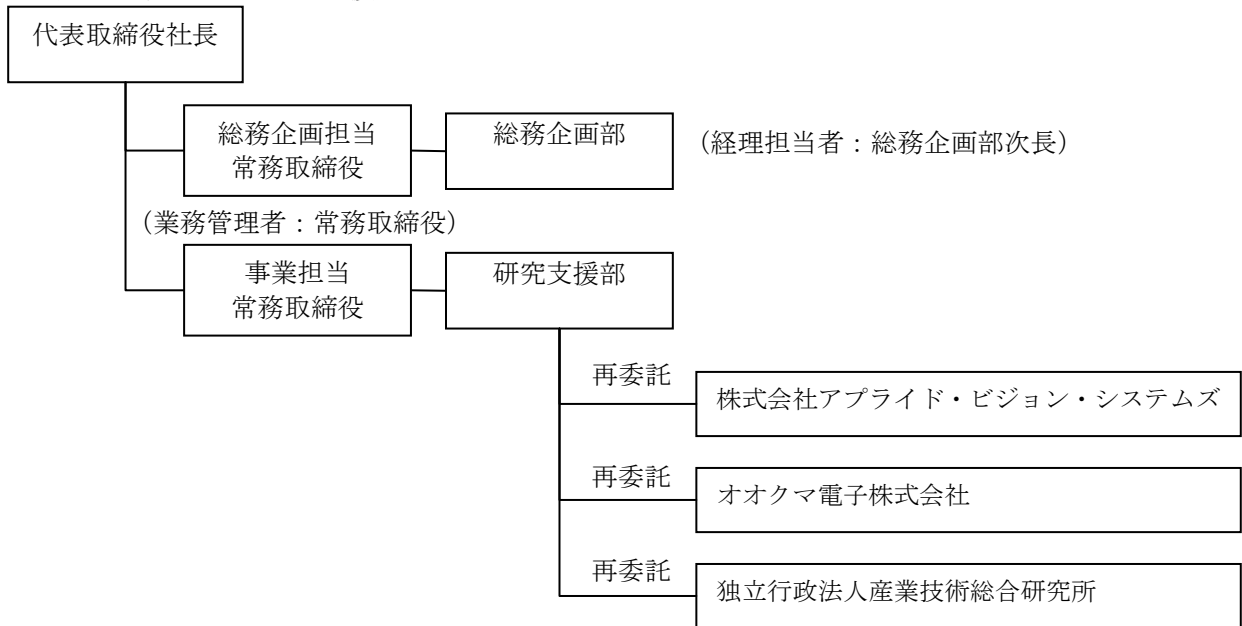
① 研究組織（全体）



② 管理体制

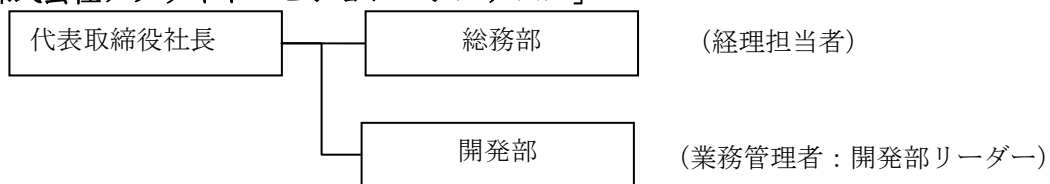
【事業管理者】

【株式会社つくば研究支援センター】

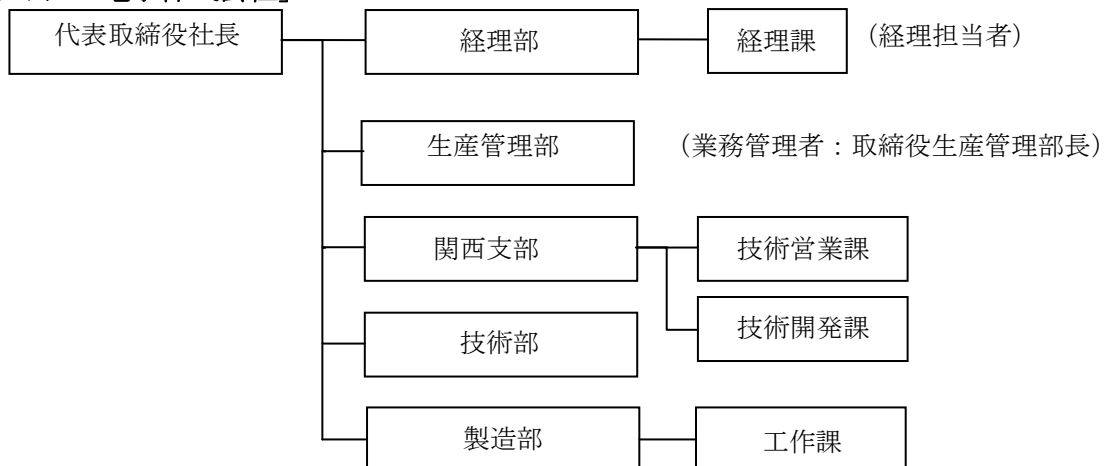


【再委託先】

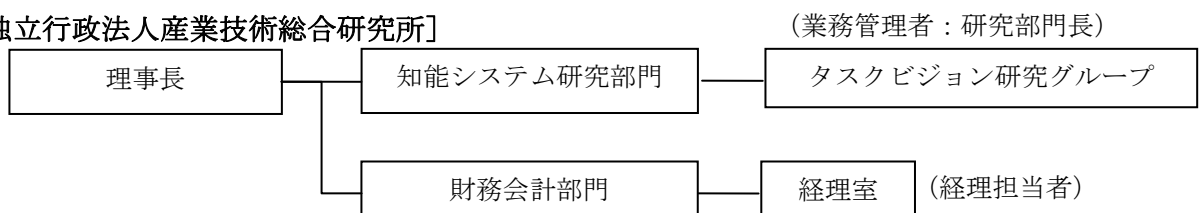
【株式会社アプライド・ビジョン・システムズ】



【オオクマ電子株式会社】



【独立行政法人産業技術総合研究所】



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】

株式会社つくば研究支援センター
管理員

氏 名
高田 青史
永岩 良教
大塚 信茂

【再委託先】

株式会社アプライド・ビジョン・システムズ
研究員

氏 名	
高橋 裕信	門内 正和
佐藤 淳	井上 美明
張 建新	水口 祐司
野崎 俊輔	岡村 由美
上村 彰	

オオクマ電子株式会社
研究員

氏 名	
大隈 恵治	杉田 栄作
吉田 聡	重枝 永久
小川 透	望月 浩
石島 俊	古本 活之
戸崎 篤	大隈 義信

独立行政法人産業技術総合研究所
研究員

氏 名	
河井 良浩	吉見 隆

(3) 他からの指導・協力者

開発推進委員会 委員

氏名	所属
高橋 裕信	株式会社アプライド・ビジョン・システムズ
佐藤 淳	株式会社アプライド・ビジョン・システムズ
大隈 恵治	オオクマ電子株式会社
河井 良浩	独立行政法人産業技術総合研究所
一條 久夫	株式会社つくば研究支援センター
高田 青史	株式会社つくば研究支援センター
永岩 良教	株式会社つくば研究支援センター
大塚 信茂	株式会社つくば研究支援センター

1-3 成果概要

研究開発の成果として、以下の点があげられる。

- (1) 光学系の開発－ミラーの採用によるコンパクトな錠剤計数装置の開発
- (2) 光学系の開発－ステレオカメラ撮影に用いる小型高性能カメラの開発
- (3) 光学系の開発－分包シート搬送中での照明、高速撮影の同期による、分包シート搬送中でのステレオ画像取得の実現
- (4) 照明方法および照明装置の開発－スポット照明による、4方向からの同時照明
- (5) 照明方法および照明装置の開発－LED 平行光源の実現と減価低減
- (6) 3次元計測統合ソフトウェアの開発－精密平板キャリブレーション板によるカメラキャリブレーション（カメラパラメータとレンズ歪み）
- (7) 3次元計測統合ソフトウェアの開発－立体キャリブレーション板による簡易カメラキャリブレーション（カメラパラメータ）
- (8) 錠剤検出ソフトウェアの開発－ステレオカメラによる、錠剤検出ソフトの作成

これらを実現し、予定していた性能（特殊錠剤を除く 90%の錠剤で計数誤り率 1%以下）を満たすことができた。一方、当初から予想されていたように、カプセル、特殊錠剤といったものには基本的に対応できていない。また、かなりのコンパクト化を実現したが、現状の装置に多少の変更をせざるを得ず、より小型化ができれば望ましいと思われる。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理者】

名称：株式会社つくば研究支援センター
住所：茨城県つくば市千現 2－1－6
連絡担当者名：高田青史
Tel: 029-858-6000

【再委託先】

名称：株式会社アプライド・ビジョン・システムズ
住所：茨城県つくば市吾妻 2－5－1
連絡担当者名：佐藤淳
Tel: 029-855-7652

名称：オオクマ電子株式会社
住所：熊本県熊本市長嶺西 1 丁目 8 番 1 0 4 号
連絡担当者名：大隈恵治
Tel: 096-382-8110

名称：独立行政法人産業技術総合研究所
住所：茨城県つくば市梅園 1－1－1
連絡担当者名：河井良浩
Tel: 029-861-2000

第2章 本論

以下、本論は成果物を理解しやすい内容となるよう、提案時に提出した項目の順番を変え、内容をプロジェクトリーダー（PL）のほうで整理して記述した内容となっている。また、各グループで行った検討を一つにまとめた報告書の形式を採用している。

これらの理由で、各セクションの見出しと内容自体は、提案書の項目と一致しているが、セクション内での記述の順番は、時系列順に沿った内容には必ずしもなっていないことには留意されたい。

2-1 錠剤係数に適した光学系および装置の開発

2-1-1 光学系の開発

2-1-1-1 アプライド・ビジョン・システムズによる光学系の検討

アプライド・ビジョン・システムズとして、まず光学系の検討を行った。実際の錠剤分包機においては、錠剤は連続的に分包されて搬送される。この搬送中の個々の分包をひとつずつ撮影することで、錠剤計数を実現する。このために必要な、カメラ、ミラーの選定、配置を含めての最適な構成を考える。通常、分包された袋の表側と裏側で別々に3次元復元をするには、表、裏専用の一つのステレオカメラセット（2台）が複数必要になるが、この場合、カメラ配置のためのスペースが2倍必要になる上、コストもほぼ倍になってしまう。そこで、ミラーを使って1台のカメラで同時に表裏が撮影することを考え、一つのステレオカメラセットで、表裏の計測を実現する。

カメラとレンズを含む配置の詳細な詰めは、オオクマ電子側から、おおよその配置可能なスペースについての情報を得、その範囲に収まりつつ、可能な限り、コンパクトになるよう、レンズやミラー、照明、分包の配置、位置を変えながら検討した。

最終的に、アプライド・ビジョン・システムズ内では図2のような配置で比較的満足できる画像が取得できることが確認されたので、この配置図をオオクマ電子側に渡し、この配置を基本データとして、実際の錠剤分包機内での環境や、使うカメラの大きさに合わせて調整を行ってもらった。

2-1-1-2 オオクマ電子による光学系の検討

コスト削減や省スペース化、ステレオカメラでの完全な同時撮影を実現するために、鏡を配置することにより、ステレオカメラシステムを1セットのみとして、袋の両側面を同時に撮影する方法を確立する。加えて、小型でありながら高解像度の同期ステレオカメラ装置を開発する。また、情報量が多い画像データを、大量に、高速で転送する為にPCとのインターフェース部分はEZ-USB開発ツールを使用し開発する。

既に商品化されている錠剤分包機への搭載を視野に入れ、実機と同等レベルの分包スピードで画像を取得し、データを転送する技術を確立する。

現在販売されている錠剤分包機の分包速度にて画像を取得し、データを転送する必要がある。更に、分包は連続して動いており動画として画像をとらえる必要がある。カメラ、レンズの選定及び、データ転送速度、照明の検証の為に、分包袋を実際の速度で移動させる模擬環境を製作し、データ収集を行った（図3）。

この実験の結果を元に各構成部の仕様を決定した。

カメラ仕様（図 4）

撮像方式	Progressive	
撮像素子	1/3" Inter line CCD	
有効画素数	1034(H) × 779(V)	
撮像画素数	1024(H) × 768(V)	
チップサイズ(mm)	5.80(H) × 4.92(V)	
セルサイズ(μm)	4.65(H) × 4.65(V)	
垂直周波数	43.77Hz (44FPS)	
水平周波数	34.84KHz (44FPS)	
水平駆動周波数	44.25MHz (44FPS)	
最低被写体照度	1Lux at F1.4(30FPS)	2Lux at F1.4(30FPS)
	With Normal Mode	With Normal Mode
同期方式 SYNC SYSTEM	Internal	
シャッタースピード	OFF,1/2～1/100,000(Variable,Can be set H and Clock)	
レンズマウント	C Mount	
映像出力	Digital : 10bit	
動作温度	温度 : -5°C～+45°C、湿度 : 0～85%RH(結露なきこと)	
外形寸法(mm)	28(W) × 28(H) × 40(D) *コネクタ部含まず	
重量 WEIGHT	本体 : 約 43g	

カメラモジュールからの画像データ転送には「v-by-one」を採用した。

「v-by-one」を採用する事により、将来製品にステレオカメラが組込まれた時に長距離・高速伝送が可能となり、制御基板、PC をカメラから離れた位置に設置する事が出来、商品化への設計を容易に行える事が可能となる。

外部からのトリガー信号を元に、カメラシャッター及び照明ストロボのタイミングを取り、カメラからの画像データをメモリーに取り込み、外部（画像処理エンジン PC）へデータを転送する。カメラシャッター及び照明のタイミングは PC アプリケーション上で自由に設定する事が可能である。また、連続撮影（動画）にも対応出来、キャリブレーション作業の効率化をはかる事が出来た。外部への I/F には USB を採用し PC への接続も安易に対応出来る物とした（図 5）。

カメラの選定には小型化、低原価を考慮し CMOS イメージセンサーカメラの検討も行ったが、分包機の動作上分包シートが連続的に動いており、また、分包カッター等からの振動を考慮し今回は CCD グローバルシャッターの採用を決定した。ただ今後の商品化を目指し、より小型化、低原価に向けて CMOS イメージセンサーの検証も続けて行く必要がある。

今回は鏡の採用により分包の両面を 1 台のステレオカメラで撮影する事に成功し、また、実際の分包機に搭載出来る H/W のユニット化にも対応した。ただ実際の商品化にはまだより省スペース、低価格への取組みの必要がある。

2-1-2 照明方法および照明装置の開発

2-1-2-1 アプライド・ビジョン・システムズによる照明方法の検討

提案時に想定していた照明方法は、分包が撮影位置にきたら、適切な照明を用いて、分包全体の片側（袋半分）の照明を行い錠剤円の輪郭の半分のエッジを取得した後、次に反対方向から照明を当てて、残り半分のエッジを取得し、2つ合わせて円全体のエッジを取得する方法であった。

この方法は、全面に一度に光をあてるより陰影をはっきりさせやすく、境界がわかりやすい画像を取得できる。ただし、この方法だと3次元的な分包のずれが生じないように、分包を撮影位置で一度停止させて2度の照明で2回撮影することになるので、主たる問題は、2回分の画像を処理する為の処理速度の問題となるだろうと、当初は予想していた。

しかしながら、オオクマ電子と錠剤分包機内のスペースの検討を行ったところ、内部には既に余裕がほとんどない状態であり、新規設計となる機械（カメラ＋照明＋治具）を現在の機械内部にいれようとする、導入可能な場所は、極めて限定されることが判明した。唯一可能と思われるスペースが、分包し、圧着した後、個々の分包シートに裁断するまでの間の空間である（ただし、裁断用の機械は取り出す）。この空間におけるとした場合、およそ分包1個分程度＋ α の空きスペースがあり、うまく装置が収まれば、ここで撮影が可能となる。

ただし、錠剤分包機の現在の構造上、分包シートの送りだし量は可変ではなく、一定量である。そのため、このスペースでの撮影の可否を検討するために、分包シートが、このスペース中のどのような位置に配置されるかを調べた。結果、非常に具合が悪いことに、空きスペースで搬送を静止させた場合、2個の分包のちょうど半分ずつが必ず入るようになっていた。ユーザーからの要望で、錠剤分包機の構造改変はなるべく行いたくないということもあり、また市場への製品のインパクト、受け入れやすさを考え、分包シートを送り出す作業をさせながらちょうど一包分が綺麗にうつところで撮影する方法を採用することにした。この方法を採用する場合、前述のシートを一時停止させて2回撮影するという方法とは異なり、1回しか撮影できないので、照明も1度の照明で必要なエッジを取得する必要がでてくる。また、静止しての撮影に近い画像を得るために高速でのカメラ撮影が必要になった。

上記提案に基づき、アプライド・ビジョン・システムズ側として照明方法の検討として、錠剤をもっとも効率よく光らせる方法の検討を行った。具体的な目標としては、多種の照明の組み合わせで、円状（錠剤）のものが複数集まった状況で、エッジ（周辺部）全体を、効率良く光らせることを目指すことになった。

検討は、まずアプライド・ビジョン・システムズ内部で作成した擬似的な撮影環境（図1）で行われた。照明の種類としては、リング照明（アングル角によって違いがある）、面照明、ライン照明、バー照明、スポット照明などがあり、この上、さらに色の変化、個数がある。また、照明ではないが、撮影画像に影響を与えるものとして、偏光板の使用などがある。これら、多種多様な組み合わせで、袋に入れた錠剤画像を撮影してみた。

図6-8は、その一例である。リング照明は、その名の通り、円の周囲から内側に向かって光を直接リング状にあてる照明であるが、円状の錠剤がもっとも綺麗に見えたのは、このローアングルリング照明であることがわかる。次に比較的良かったのは、ライン照明と呼ばれる、線上に光がでるもので、この線が円の両側からあたるとすると、擬似的にリング照明のような当て方ができる。しかしながら、実際の機械への導入時のコスト、取り付けスペースを考えると、これらの照明は理想ではあるが、現実には非常に困難といわざるをえない。そこで、リング照明のかわりに複数のスポット照明を使うことで、リング照明のような効果をつくれないうという検討を行った。

スポット照明を4つ使い、その照明位置の検討をさまざまに行った結果、錠剤に対し、4方から光を当てると、リング照明の代わりに近い画像が取得できることが確認できた。また、この照明配置を探る途中で、照明の当て方次第では、袋に影が多数できてしまうことや、スポット光のように照明自身が直接撮影されてしまう図8のような問題が生じてしまう場合があることも判明した。

最適な照明配置でありながら、分包シートの搬送を阻害しない配置として、図2を、実験を通して得た。この配置でスポット光を周囲4方向から光をあてることで、リング照明に代わる照明効果を擬似的に得ることができた。また、照明の色に関しては、初期は、色を変えて多様な色の錠剤に対応することなども検討されたが、綺麗なエッジ画像を取得するために、まずモノクロでの撮影を重視し、白色光が採用された。

2-1-2-2 オオクマ電子による照明方法の開発

本システムでは色や形状の異なる対象物を扱うため、そのエッジ部分のみを情報として用いる。このため、色等が異なっても錠剤のエッジが明瞭に検出できる照明システムを必要とする。精密な照明を実現するために、多数のLEDを用いて、両側面を同時に照射可能な配置について検討し、開発する。

また、既に商品化されている分包機への搭載を視野に入れ、省スペース、低原価、製品化へのスケジュールを考慮した新規設計が必要となる。

構成としては分包への照射を考慮し、4個のLED照明を設置する構造とした。また、各LEDの角度、距離を調整出来る機構を設けた。また、現状の分包機内に搭載出来る形状とした(図10)。

LED照明を制御すコントロール基板を新規開発し下記機能を備える事により求められている撮影画像を取得する事が可能となった(図9)。

- ・輝度調整機能

LEDへの電流量を制御する事により求めている輝度を調整する事が可能となった。また、連続照明、ストロボ照明の両方に対応する事が出来る。

連続照射が可能となり、画像処理エンジンのキャリブレーション作業が容易となった。

- ・複数(4CH)制御

4個のLEDそれぞれの輝度、角度等を調整出来る事により、適した画像を撮影する事が出来る。

- ・照明時間調整機能

求めている画像を得る為に照射時間を調整する必要があった。1ms~の照射時間を調整する機能を設けた。

- ・照射タイミング

分包シートの区切り部分の認識方法については、レーザー等をベースとした照射装置を設置し、その反射光を利用する方法を検討したが、スペース・原価の問題から採用を見合わせた。より効果的が方法として外部(分包機)から信号を受取り、そのタイミングに応じて照射する方法をとった。また、タイミング時間はソフトウェアで自由に調整する事が可能である。

照明源にLEDを採用する事により、省スペース、低原価と商品化に向けての開発効果は十分得る事が出来た。また、制御基板を設ける事により、各動作モードをPCアプリケーションソフト上の設定で可能となり、実験期間の短縮が可能となった(図11)。

今後は複数の色、形状の錠剤にも対応出来る様に、輝度、発光色を変更できる照明の開発が必要となる。

2-2 3次元画像認識による錠剤計数ソフトウェアの開発

2-2-1 3次元計測情報統合ソフトウェアの開発

2-2-1-1 アプライド・ビジョン・システムズによるカメラキャリブレーション

カメラキャリブレーションにおいては、レンズ歪みとカメラパラメータ（内部パラメータと、外部パラメータ）の両方を決定する必要がある。このうち、レンズ歪みのようなレンズ自身の性質、レンズ自身の内部的な性質（CCDのアスペクト比等）は、一般的には経年変化しにくいと考えられる。したがって、安定した環境下では、カメラパラメータのうち、定期的に決定すべきなのはカメラの向きや位置を決める外部パラメータであって、レンズ歪みや内部パラメータは初期に一度決定すればよいということになる。

通常は、アプライド・ビジョン・システムズのキャリブレーション技術を使うことで、上記はすべてが決定できる。しかしながら、今回の錠剤検出システムでは、ミラー間の距離が狭く通常のキャリブレーションを行うための十分な空間がない。このため、弊社キャリブレーションソフトを修正し、この作業を実現できるようにした。

また、一つのカメラ画像中で、表裏という分包袋の二つの方向から見た画像が取得される。カメラは計2台あるので、仮想的に二つのステレオカメラセット（表用と裏用）が存在するものとして扱える。キャリブレーションの結果、表側の画像だけで計算したカメラ間距離、裏側だけで計算したカメラ間距離は原則一致した。これらのカメラ画像を使って、測定する3次元空間内で十分なキャリブレーションデータを取得することで3次元計測の精度は確定される。

表側、裏側を統合する上で、技術目標としている一致の精度(1mm 以内)を達成するためには、特殊なキャリブレーション板の作成が必要になる。精度保証（パターン中心位置で 0.1mm 程度）されている極めて精度の高い精密平板キャリブレーション板を作成した。結果、座標系の統合をする際に、厚み分だけの変化と、表裏で座標軸の向きが逆になることの対応のみを考えることで、1 mm 以内の精度は余裕で達成できた。

2-2-1-2 産総研によるキャリブレーション

(1) 立体キャリブレーション板を用いた両面ステレオキャリブレーション

対象物（薬包）を両面から3次元計測するシステムにおいて、両面の計測装置（ステレオビジョンシステム）同士が共通の3次元座標系で計測できなければ計測結果の統合ができない。通常は、二つの観測系に同じ点を見せるが、今回のシステムでは視線方向が正反対であるため、それが困難である。

従来法（図 12）では、各ステレオカメラのキャリブレーションを行った後、両側に高精度なテンプレート印刷したキャリブレーション板を用意し、キャリブレーション板の計測結果と、既知の表裏のパターンの配置をもとにキャリブレーション板の表面を共通座標系として各ステレオカメラの座標系からの変換行列を求める。この方法の問題点は、表裏の印刷精度を高めたキャリブレーション板が高価であることと、一度に撮影できる特徴点が平面内に限られるために、キャリブレーション板を移動した撮影を複数回行う必要があることである。この例では、キャリブレーション板の幅 w および厚さ d が既知であれば、次の式で上下の座標系間の変換行列 R を作成できる。

$$\begin{pmatrix} p' \\ 1 \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} p \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & -w \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ここで、 p および p' はそれぞれ上および下のステレオカメラで計測された三次元点である。

あらかじめ立体的に配置された特徴点を持つ板を用意し、特徴点を観測することでこの問題を解決することができる。

立体キャリブレーション板には、表裏から同時に観測できる複数の特徴点が固定されている。

各ステレオカメラのキャリブレーションがあらかじめ済んでいる場合には、三点以上の点を各々のステレオカメラで計測することで共通座標系への変換行列が計算できる。この場合には、特徴点の相互の位置関係は既知である必要はなく、片方のステレオカメラの座標系を基準座標系としてももう片方のステレオカメラの座標系との変換行列を計算できる。

各ステレオカメラのキャリブレーションが済んでいない場合には、図 13 に示すように、キャリブレーション板の両側に特徴点があり、相互の位置関係が既知であることが必要である。この場合には、すべてのカメラのキャリブレーションを同時に行うことになる。また、すでに奥行きのある特徴点のパターンが撮影できるために、キャリブレーション板の移動の必要がない。この特徴は、本研究の光学系のように対象とする測定空間が狭隘でキャリブレーション板を移動することが難しく、かつ計測奥行きが限られている場合には、利点となる。特徴点の配置、形状が異なるキャリブレーションを試作し、どのようなキャリブレーション板が有効であるかを検討した。

共通仕様：幅 120mm、高さ 90mm、厚さ 10mm。

(2) 実験方法

図 14 に示すような光学系において、立体キャリブレーション板を撮影した。カメラには、Point Grey Research 社製の FL2-08S2C(XGA, Color)、レンズには興和(株)製の LMVZ4411 をそれぞれ二台ずつ使用した。鏡は、表面における二重反射を防ぐために金属鏡を二枚使用した。レンズ間距離は実測でほぼ 7cm、カメラから計測空間までの距離は、鏡による反射を含めてほぼ 30cm であった。光源は、平面状の LED 光源とスポット状の LED 光源を検討したが、照明のむらの少なさを考慮して平面状 LED 光源を鏡の下方から上向きに照らすように配置した。理想的には撮影は一回で可能だが、今回は特徴点を安定して出すように、片面ずつ交互に照明して二回撮影した。

実験は、両面に 9 個ずつの特徴点を持つキャリブレーション板 a を用いて行った。

撮影した画像から画像処理プログラムにより、特徴点の座標値を抽出した。これらの二次元座標値と板の設計図から得られる頂点の三次元座標値の組をつくり、それをもとにキャリブレーションパラメータを計算した。なお、この方法においてはレンズ歪みのパラメータは計算できず、計算する場合には平板キャリブレーションなどの他の手段を併用する必要がある。今回使用したレンズはディストーションレスレンズであるので、歪みは無視した。

(3) 実験結果

キャリブレーションにより二つの鏡により反射した画像計算された特徴点の三次元位置を三次元データの表示プログラムによって表示し、両者が一致することが確認できた。予想通り共通座標に変換できたことを示している。

次に、キャリブレーション結果の定量的な評価をするため、両面から計測可能な四角形のテストパターン画像を撮影した。キャリブレーション板 a を使って得られたキャリブレーションパラメータを用いて三次元復元を行った結果が、図 15 に示した結果である。この図で、黄色い線と赤い線はそれぞれ表と裏の計測結果を示している。この対象においては、四角のすべての辺がエピポーラ線に対して角度を持っているため、三次元復元が行える。また、それぞれの線は直線なので、相互

の誤差が評価できる。

テストパターン表側から撮影した画像から復元した三次元データの各辺に対して直線をあてはめ、裏側から撮影した画像の三次元点の誤差を計算した。その結果、x 方向、y 方向および z 方向の 425 点を使った誤差の絶対値の平均は、それぞれ 0.0837[mm]、0.0825[mm]および 0.915[mm]であった。同様に、テストパターンの裏側から撮影した画像から復元した三次元データの各辺に対して直線をあてはめ、表側から撮影した画像の三次元点の誤差を計算した。その結果、x 方向、y 方向および z 方向の 372 点を使った誤差の絶対値の平均は、それぞれ 0.0900[mm]、0.0902[mm]および 0.912[mm]であった。なお、ここで使用している座標系は、立体キャリブレーション板の表面の長い方向(図 4 の右方向)に x 軸、短い方向(図 4 上方向)に y 軸、厚さ方向(図 4 の手前方向)に z 軸をとったものである。別の特徴点の配置を持つキャリブレーション板 b を使った実験も行い、同様の結果を得た。

(4) 考察および評価

立体キャリブレーション板による対象物の両面からの三次元計測のためのキャリブレーション方法を開発した。本手法で、三次元的に分布した特徴点のある板を一度撮影するだけで両面から観測する三次元計測システムのキャリブレーションが可能であることが示された。また、二つの計測系において計測された同一点の計測誤差は目標の 1mm 以内を達成した。

立体キャリブレーション板を使う方法は、平板キャリブレーション板を使う方法とは異なり、キャリブレーション板の移動を必要としないため、今回開発する分包機のような狭い空間で計測を行う場合には、安全性や容易性において優れているといえる。

今回の研究では、スポット状 LED と平面状 LED を照明として試し、平面状 LED の方が照明として適していることがわかった。また、LED 照明の設定が難しかったため撮影を二度に分けて実験を行った。理想的には一度の撮影で済ませることが望ましいが、撮影や照明位置の自由度については二度の撮影の方がより高い融通性を持っているようである。

今後は、立体キャリブレーション板の形状、塗装、特徴点の数、照明の方向や数、画像中から特徴点座標値を計算するアルゴリズムなどを検討し、実用化に向けて最適な組み合わせを調べていく必要がある。

2-2-1-3 キャリブレーションによる統合結果と使用方法

本セクションの冒頭に述べられているように、アプライド・ビジョン・システムズによるカメラキャリブレーションは、錠剤計数の初期ではレンズ歪みの計算等で必要なものであるが、定期的な運用では、必要なパラメータは実質外部パラメータだけとなる。産総研が開発した手法は、内部パラメータと外部パラメータを同時に求める手法であるが、内部パラメータは初期に求めることができるので、経年変化する外部パラメータのみを、この作業で簡易に求めることができる。

実運用では、初期のレンズ歪みを求める作業はアプライド・ビジョン・システムズのキャリブレーションとし、これらは計数装置の出荷時に行う。一方、カメラ位置の変化などは、定期的なキャリブレーションを産総研提案による簡易な方法で行えば、効率的な計数装置の運用が可能になる。

2-2-2 錠剤検出ソフトウェアの開発

2-2-2-7 錠剤検出結果と考察

実際の錠剤を用いて、錠剤計数テストを行った。

錠剤のサンプルとしては、数、サイズ、色が異なるもの等、多種多様なものを使用した。錠剤の大きさとしては、初期に想定していた、5 mm－12 mm の範囲を超える大きなものもあった。また、種別が不明なものも実験に用いた。尚、実際の錠剤を用いることから、管理は厳格に行われ、当初予定していた多数の錠剤種類から 100 種類を選び使用するとといった調査はできなかったが、錠剤の基本系である、タブレット、糖衣錠といったものや、奇妙な形をしている錠剤等での撮影を、数や組み合わせを変え 100 パターン以上行うことができた。結果、本来予定していた目的に近い、錠剤計数の性能を知る上では問題がないと思われる、大部分のデータ取得を行うことができた。

錠剤が同種で数だけ違うもの、錠剤の種類が異なるもの（色違いを含む）、錠剤の形が特殊なもの等、各種サンプルを使用し、目視で測定した錠剤個数と、ソフトウェアによる検出結果が一致すれば OK となる。検出結果として、かなりの錠剤では、形状が正常にとれている場合は、計数はほぼ間違えておらず、目標としていた 1 % 以下の誤り率を達成した。また、エッジ画像や、ステレオによる 3 次元復元に問題がある場合以外は、大きな問題を引き起こしていないことがわかった。当初予定では、錠剤数 10 個程度までを想定していたが、錠剤数 11 個でも計数が正常にできていることを確認した。一見して、錠剤が重なっているにも関わらず、計数が正常にできており（緑の円の個数＝錠剤個数）、3 次元測定の利点である、重なりのある錠剤についての有効性が示されていることがわかる（図 16,17）。

さらに、カプセルと錠剤といった組み合わせも行い、これらが一緒に分包される場合、錠剤は正しく検出されるが、カプセルは先頭部の一部が錠剤として認識されたこと（結果として数は一致）、花形のような錠剤では、かなりの部分が円として認識されていることがわかった。つまり、円に近い構造であれば、復元対象となる錠剤として認識されるということになる。一方、三角形の錠剤では、二つの三角形があわさって、大きな楕円の形として認識されているなど、円としての近似外の形であることがわかる。また、黒色のようなものは、エッジ画像が十分ではなく、まったくステレオ復元できないということが判明した。

最終的には、オフライン用の開発と並行して開発していた、オンライン用のソフトウェアに、オフライン解析で得た情報をフィードバックすることで、より高速な処理を実現するオンライン用のソフトウェアを開発した。

最終章 全体総括

研究成果

本事業によって、技術目標として当初設定していたものはすべてクリアした。結果、錠剤計数については任意に選んだもののセットにつき、黒色や、三角といった特殊なものをのぞき、ほぼ確実に計数を行うことが出来、ステレオ復元について問題のなかった、丸い形状をしたものに関しては、1%以下の誤り率での計数を実現できた。また、実用化のために必要な精密、立体キャリブレーションを1mm以下の精度で実現できた上に、計数装置をかなりの程度まで、小型化でき、適切なカメラ作成や高速データ伝送、小型LED照明を実現することができた。

一方、当初予想していたこととは異なり、搬送しながらの撮影を前提としたシステムとなることを開発途中で余議なくされた。この問題は、照明やカメラ設計に大きな影響を与え、初期目標より性能が落ちざるを得ないと思われたが、さまざまな工夫をこらすことにより、これらの問題のかなりの部分を解決できた。

最終的には、実環境に近い状況での撮影を試み、実環境に近づけて変更されたシステムでありながら、錠剤計数に関わる技術目標を達成したことを確認し、かつ、円形ではないが、円形に近い形状のものについても、一定程度の有効性が確認できた。

研究開発後の課題

開発後の課題として、カプセル、丸以外の錠剤に対する対応がソフトウェアとして必要となる。このためには、錠剤のモデル化等が必要になると推測され、検査時に分包されている錠剤種類に関する情報を得る必要があり、今後は、分包装置と画像処理装置の情報の共有が必要になると考えられる。また、このような情報の共有を通して検出性能自身も向上させることが可能と考えられる。

錠剤の色種類としては、黒色といったものがあり、本撮影環境では背景も黒（カメラ基底部付近が写っている）のせいで計数ができないという問題が生じている。しかしながら、これらのかなりの部分に対し、将来カラーでの撮像処理、照明の色変更等を行うことでの対応可能性は高いと考えられる。

また、さらなる省スペース化を実現する必要があると推測され、ミラーの不要化もしくは小型化、カメラの小型化が一層必要になると考えられる。

事業化展開

今回の開発品は、調剤薬局を市場対象とした製品である。現状の自動錠剤分包機において、分包薬の錠剤数、錠剤種類を自動認識するツールは一つも無く、この開発品の市場優位性は非常に高いものと言える。よって、この開発品を搭載した自動錠剤分包機の市場優位性は、日本国内に留まらず、世界の調剤薬局市場においても極めて高い市場占有率を実現できる可能性は非常に高いものとする。

また、調剤薬局の薬剤師は、錠剤の数だけを検査しているのではなく、錠剤の種類も検査している。つまり、数を検査する今回の開発品から、次の錠剤種類を検査できる上位機能性の製品市場の可能性も広げられ、製品の販売チャンネルをより増やしていくことが可能となる。

この開発品の機能は、円弧の物体の数を読取る画像処理機能に優れており、その拡張性は無限大である。例えば、自動車市場におけるダイカストや細かい部品の認識やピックアップ、組立作業の自動化にも活用可能である。それは、画像処理エンジンの拡張性、カメラや照明の小型構造、組込み易いシステム（USB等）を実現していることによる。よって、この開発品の拡張性としては、自動車市場、半導体市場、液晶市場等、様々な場所に活用していくことができる。

現在検討中の事業化スケジュール（案）について、弊社としての今後の計画を下記に記載する。

		2010年度		2011年度		2012年度	
		上期	下期	上期	下期	上期	下期
量産試作品	装置開発 画像処理開発 光学系開発						
	デバッグ			量産試作品完成			
量産品				量産リリース	シェア18%達成		シェア30%達成
海外展開						初号機リリース	

結び

本事業によって初期目標は達成することができた。

スペースが小さい、搬送させながらの撮影システム等、当初予定していたよりも厳しい条件下での目標達成となったが、様々な改良を通して無事に技術目標を達成することができた。一般的な多数の錠剤に対応するまでには、まだ課題が残っているが、基本となる技術は確立できたことにより道が開けたと、我々は考えている。

今後、引き続き改良や細部の検討を行い、早い段階での製品化ができるよう、全力で望む所存である。

図表



図 1 模擬環境

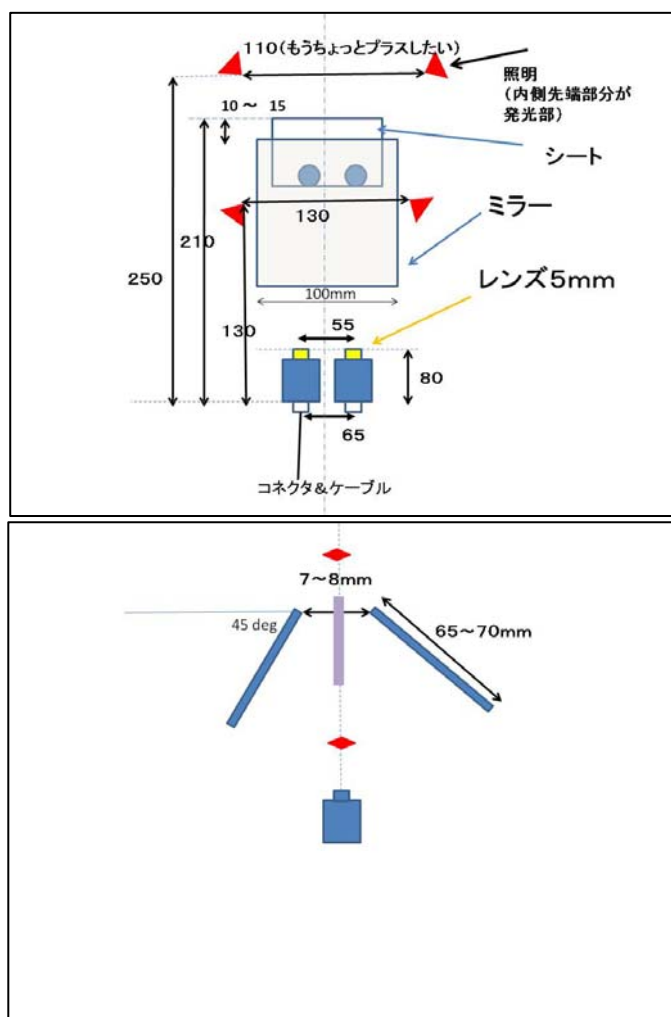


図 2 治具パラメータ図



図 3 動作実験環境



図 4 カメラ、照明、鏡 ユニット

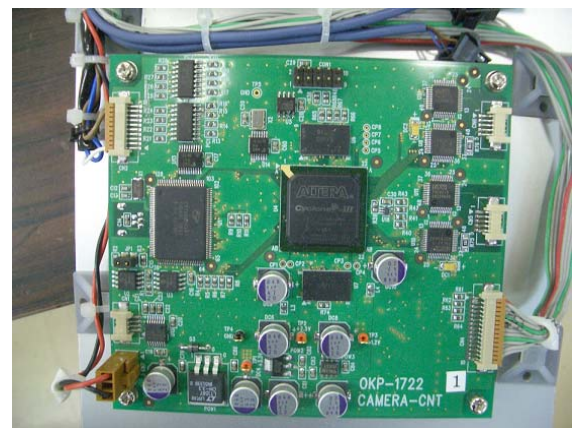


図 5 カメラ制御基板

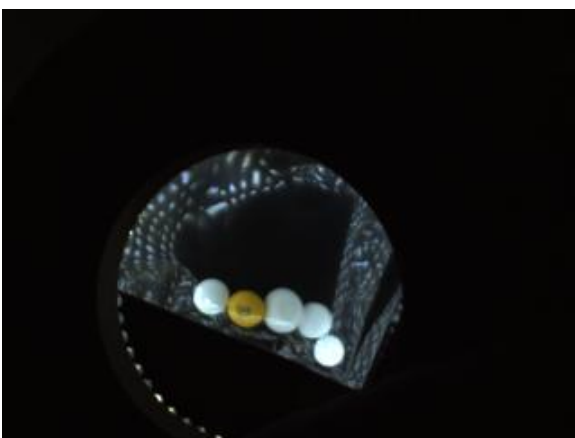


図 6 リング照明をあてた錠剤



図 7 スポット照明をあてた錠剤

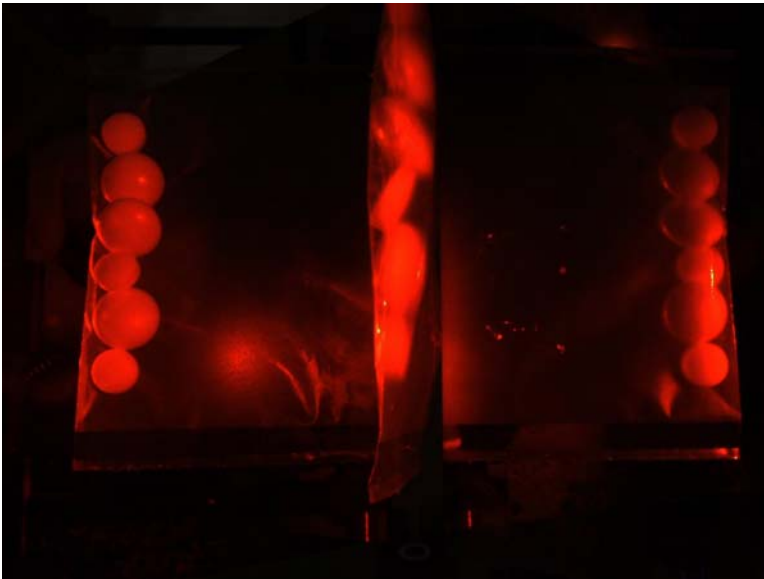


図 8 スポット光でだめになる例



図 9 照明制御基板

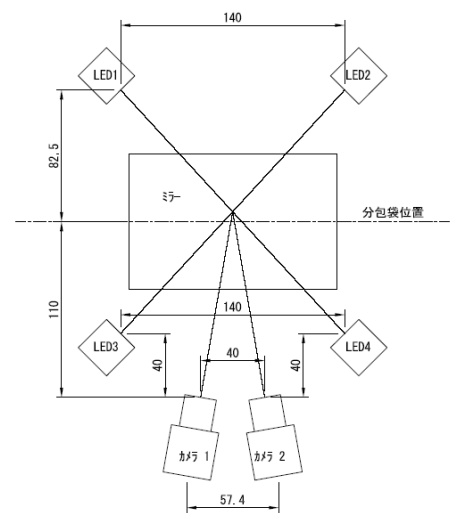


図 10 LED 照明配置図

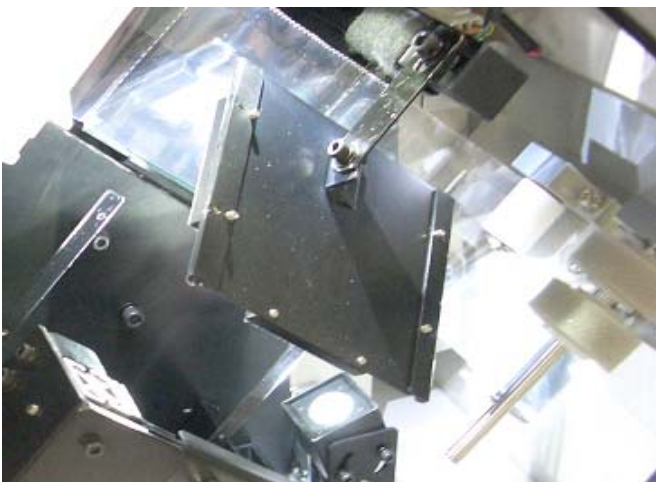


図 11 LED 照明部

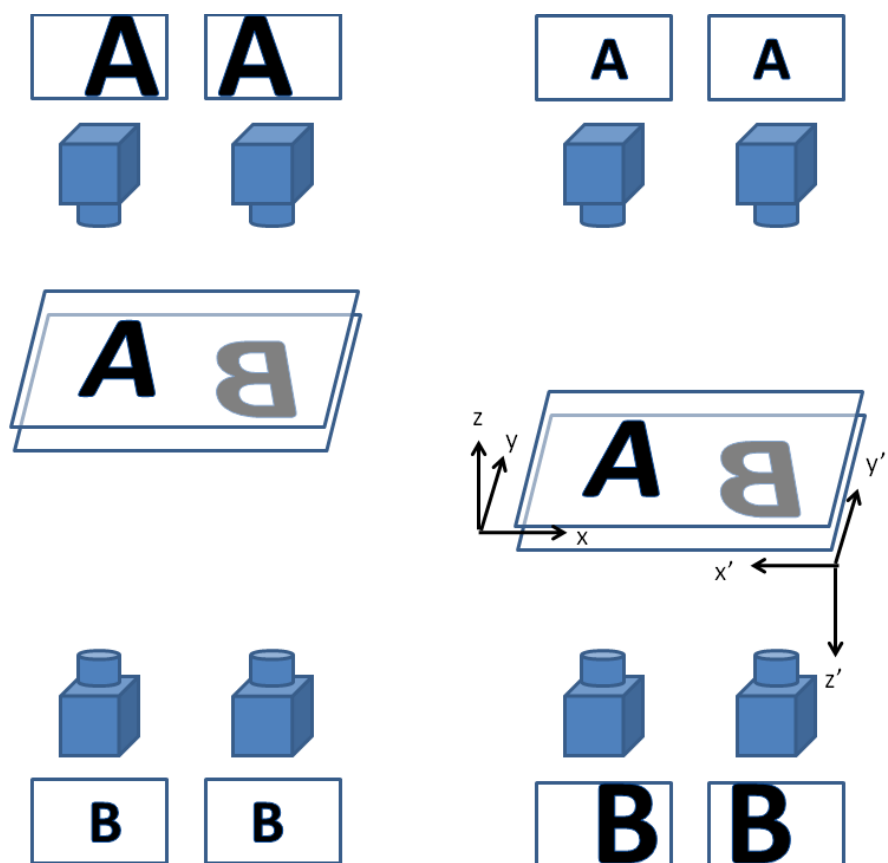


図 12 平板による従来のキャリブレーション

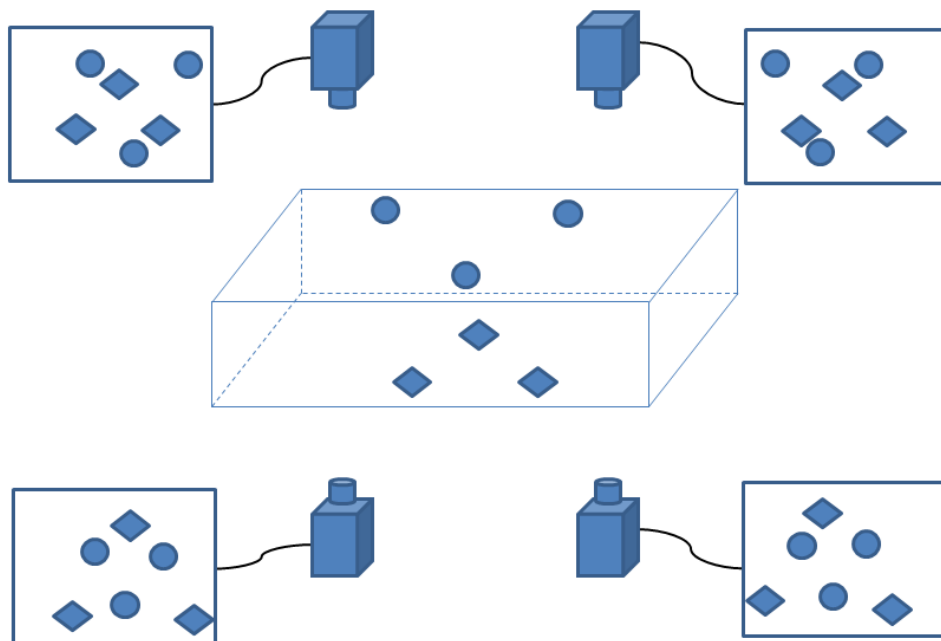


図 13 立体キャリブレーション板によるキャリブレーション

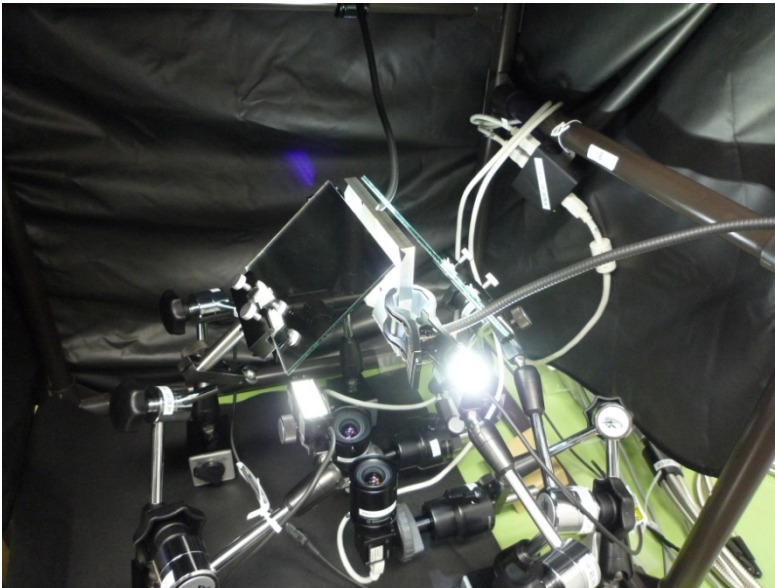


図 14 実験環境

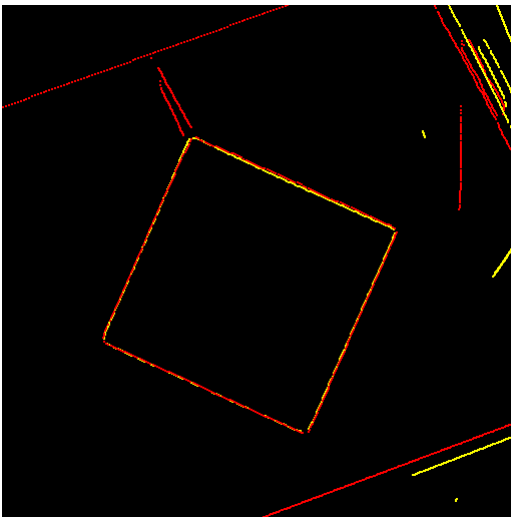


図 15 検証結果

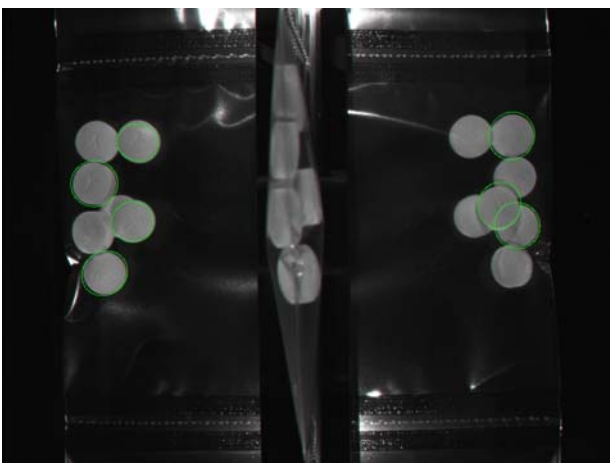


図 16 錠剤サンプル (7 個の場合)

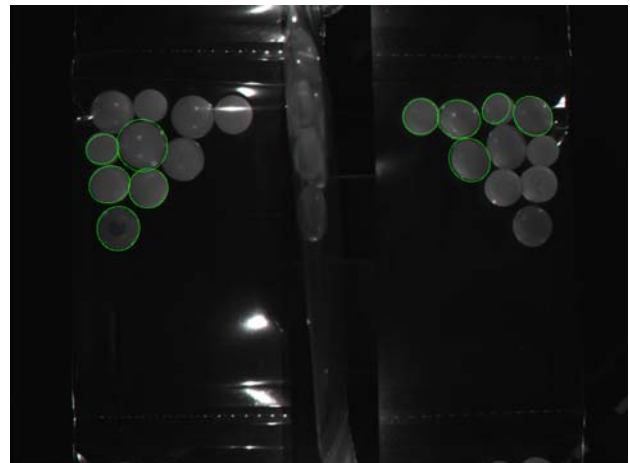


図 17 錠剤サンプル (10 個の場合)

