

# 群馬県立産業技術センター 研究報告

平成31年度

Reports of

Gunma Industrial Technology Center

2019

群馬県立産業技術センター

## 目 次

### 次世代産業創出研究

- センター内 高効率化に伴う、IoT化システムの確立 . . . . . 1  
高橋慶行

### 試験分析高度化研究

- 試験機運転状況の可視化に関する研究 . . . . . 5  
小和瀬登、石黒 聡、黒岩広樹

- モーションキャプチャによる振動可視化とその応用 . . . . . 11  
青柳大志、須田高史、坂田知昭、  
岩沢知幸、黒崎紘史、新井宏章

- 雰囲気制御型メルトフローレイト試験機の開発 . . . . . 15  
田島 創

- 高分子フィルムの混合ガス透過性評価技術の確立 . . . . . 19  
牛木龍二、恩田紘樹

- ガスクロマトグラフ質量分析における  
ヘリウムに代わるキャリアガスの使用検討 . . . . . 23  
小林興尚、小松秀和

- こんにゃくの食感に関する調査研究 . . . . . 27  
山田徹郎、石田一成、吉野 功

- 蛍光マイクロプレートリーダーを用いた食品中アレルギー定量分析の検討 . . . 32  
吉野 功

- 味覚センサーを用いた日本酒の酒質評価系の構築 . . . . . 36  
柳澤昌臣、渡部貴志、石田一成

- ものづくりにおける生産性向上に関する研究（第2報）  
—CMMによる検査プロセスの自動化— . . . . . 41  
鏑木哲志、中村哲也、狩野幹大、  
小谷雄二

- 環境温度が三次元測定精度に及ぼす影響に関する研究 . . . . . 45  
狩野幹大、中村哲也、鏑木哲志、  
増田直也、川原潤也

# 次世代産業創出研究

## センター内 高効率化に伴う、IoT化システムの確立

高橋慶行

Establishment of the IoT system for the purpose of the efficiency  
in the technological center.

Yoshiyuki TAKAHASHI

昨今の人手不足や働き方改革など、労働体制の見直しが必須であり業務向上が求められている。群馬産業技術センターにおいても、業務効率を上げるためのIoTシステムの導入を行った。また、設備稼働を維持するためのIoT通知システムを低コストで確立した。

キーワード：IoT、低コスト、シングルボードコンピュータ

In recent years, due to labor shortages and labor reforms, it is necessary to improve the efficiency of work such as the labor system. The Gunma Industrial Technology Center has introduced an IoT system to improve operational efficiency. A low-price IoT notification system was established to maintain equipment movement.

Keywords : IoT, low cost, Single board computer

### 1 はじめに

群馬産業技術センターでは、様々な分野の研究を行っている。機械、電気、材料、計測、食品、バイオ、環境など、多くの設備を保有し様々な試験を行っている。各試験には、用途に応じた設備を利用し研究や評価を行っている。その設備は多種多様であり、使用方法、試験時間等それぞれ異なる。

試験の種類は、大きく分類して2つある。1つ目は、職員がその場で立ち会いながら使用する試験である。2つ目は、職員は立ち会わず、試験機の自動運転を利用する試験である。2種類の試験には、それぞれメリットとデメリットがある。職員が立ち会う試験のメリットは、試験の異常発生をすぐに確認し、対応が出来るため復旧が早い。一方、自動運転による試験のデメリットは、職員がその場にはいないため、異常発生がすぐに確認できず、そのまま設備が停止している場合があり、試験再開に時間を要してしまう。

その自動運転を使用した試験の一例として環境試験は、製品に温度と湿度を長時間

与え続け、耐久性を評価するため自動運転による試験が多い。そのため、職員はその場にいる事は少なく、設備の異常発生に気付きにくい。現状のセンター保有の環境試験設備は、古い年式の設備や通知システムが無い設備であり、異常を発信するシステムが装備されていない。

よって、職員が設置されている試験室へ行き、設備運転状況の把握と、異常の有無の確認を行っている。しかし、昨今の人手不足や働き方改革など、非効率作業の排除を行い業務効率向上するため、本研究は、以下の2点の課題に関して取り組んだ。

①環境試験機の運転状況の把握

②環境試験機を停止させないシステム  
本報では、上記二つの対策成果に関して報告を行う。

### 2 対策方法

#### 2.1 環境試験機の運転状況の把握

センターが保有する環境試験機は5台ある。環境試験機がある試験室と職員がいる職員室では徒歩で約5分の距離があり、職員が常に試験機の近くにいる事は無い。現

状の環境試験機の運転把握と異常発生の確認は、現場へ行き都度確認している。そのため、移動時間や確認作業時間が非効率的である。したがって、職員室内で設備の監視可能な、下記図1のような管理システムが必要である。

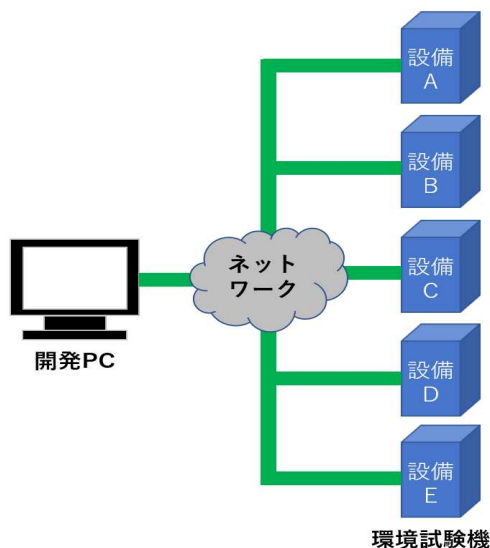


図1 管理システム

上記システムを構築する事で、設備の運転状況を一括で管理し、全体の把握が出来る。そのためには、それぞれの設備に適合した、見える化のためのシステム対策が必要である。各設備に最適な対策を講じるため、保有設備の仕様状況を確認し、どのような特徴があるかを調査した。その結果を下記表1に示す。

表1 設備仕様表

設備仕様	設備A	設備B	設備C	設備D	設備E
年式	2018年	2014年	2015年	1999年	2005年
メーカー	X社	Y社	X社	Y社	Z社
IoTシステム	○	○	×	×	×
Ethernet	○	○	×	×	×
データロガー	○	○	○	○	×
出力端子	○	○	○	○	×
モニター	○	○	○	○	○

表1の結果より、異なるメーカーや異なる設備仕様、様々な出力端子など多種多様で統一性がない。そのため、運転状況を把握のための見える化対策として、何が必要か検討した。

必要な対応策としては、先ほどの設備仕様表より、3つの対策を行う。1つ目は、IoTシステムが搭載されている設備に関しては、そのシステムを利用しネットワーク等のセットアップを行う。2つ目は、データロガーが搭載されている設備に関しては、インタフェースボード基盤の購入と改修増設し、設置後にシステムのセットアップを行った。また3つ目として、設備Eのように、Ethernetやデータロガー、出力端子等、何も搭載されていない設備に関しては、運転状況を確認できるモニターを利用する対策を行う。具体的には、設備運転の表示モニターをシングルボードコンピュータ (Raspberry Pi) とWEBカメラを利用したモニタリングを行うシステムを使用する事にした。

ここで、シングルボードコンピュータ (Raspberry Pi) とは、入出力インタフェースとコネクタを付けただけの、極めて小さなコンピュータであり、加えて低コストという魅力がある。プログラミングを利用する事で簡易的に使用する事が出来るツールである。下記に、使用するIoTツール2点を示す。



図2 IoTツール (Raspberry PiとWEBカメラ)

上記、2つのIoTツールをネットワーク設定し、開発パソコンと遠隔操作ソフトから、WEBソフトウェアをインストールする。WEBカメラに必要なソースコードを入力し、カメラの設定を行う。最終的にシングルボードコンピュータ（Raspberry Pi）のIPアドレスを入力後にアクセスし、WEBカメラを起動しモニタリングが可能となる。このシステムを利用し、設備Eのモニター上部にWEBカメラを設置し、モニターを監視するシステムを確立した。

以上の3つの対策を行う事で、下記図3で示すように、職員室内のパソコンでそれぞれの環境試験機の運転状況の把握が可能となった。環境試験機の運転状況がいつでもリアルタイムで監視出来るため、異常の発生もすぐに確認できる。



図3 監視システム

また、職員それぞれの個人パソコンにおいても、同様のシステム設定を行う事で同様の画面を閲覧する事が出来るため、異なる作業場で業務を行っていても、常に設備運転状況が確認できる環境である。結果として、環境試験機がある現場へ行く必要性が最小限で済むようになった。

## 2. 2 環境試験機を止めないシステム

以前に、現場へ環境試験機の運転状況を確認しに行った際、設備が停止している事があった。その際の対応としては、異常を確認後、設備復旧作業を行い、再度自動運転を起動させ再試験を行った。復旧作業時間は、約10分程度を要した。作業自体は約

10分ではあるが、設備が停止していた時間というのは不明確である。なぜならば、職員が現場確認へ行く時間は不規則であり、設備が停止しているか分からないためである。最悪の場合、設備の停止に気付く事なく時間だけが経過してしまう場合も考えられる。

そこで、設備が停止する1番の原因について、設備内の異常発生履歴より調査した。調査結果としては、1番の原因は、設備周辺温度の温度上昇であった。環境試験設備は、設備のシステムとして、設備自体の周辺温度が40度を超えると、正しい環境試験運転が出来ないため、自動停止する仕組みになっている事が分かった。そこで、なぜ40度以上の室温になってしまっていたのか、再度調査した。

40度を超える事象が発生した原因は、大きく2点あった。1つ目は、夏場の暑さによる試験室自体の温度上昇。そして、2点目は、設備運転稼働をする際に排出される設備排気熱による事が分かった。試験室には複数の環境試験機が存在するため、排気熱が一度に放出され試験室温度が上昇している事が分かった。

そこで、この温度影響によって設備を止めないシステム作りとして、試験室の室温の見える化、それに加え室内温度上昇異常を通知するシステム確立のため、下記IoTツール（図4）を使用し対策を行った。

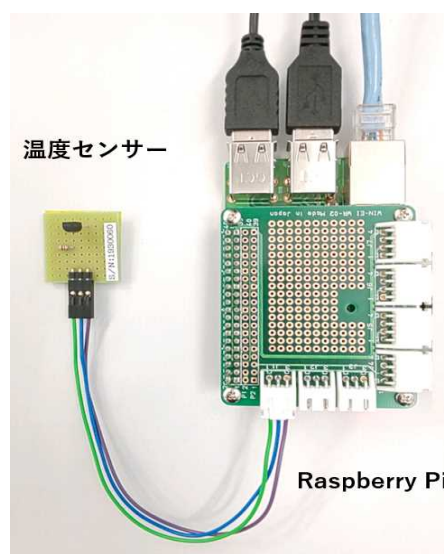


図4 IoTツール  
(Raspberry Piと温度センサー)

開発環境としては、上記2つのIoTツールをネットワーク設定し、開発パソコン、遠隔操作ソフト、加えてプログラミングインターフェース（Google API）を利用した。下記図5に、システムの概要を示す。

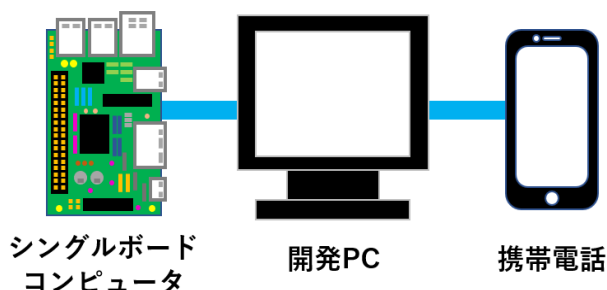


図5 異常発生通知システム

このシステムはシングルボードコンピュータ（Raspberry Pi）と温度センサーを利用し、携帯電話へ室内温度異常通知をするシステムである。シングルボードコンピュータ（Raspberry Pi）と携帯電話の通信を行うため、開発パソコンからプログラミングインターフェースGoogle APIを利用し、プログラミングを行う事で、双方の機器の通信を可能とした。

現在、携帯電話へ異常温度の通知をする設定は、試験室の室温が35度に到達した時としている。先ほどの調査結果より、設備が停止する温度が40度である事から、停止する前に対応出来るよう、室温35度を超えると自動で携帯電話へ通知するシステムとなっている。下記図6に、実際の通知時の表示画面を示す。



図6 温度異常通知画面

このシステムは、試験室以外のどんな場所にいる時でも、異常温度発生時には携帯電話へ通知する事が可能である。加えて、試験室の現状の温度状況も合わせて携帯電話、もしくはパソコンで確認する事も出来る。

このシステム構築の結果、環境試験機を止める事無く、設備運転を維持する事が出来るようになり、正しい環境試験が出来るようになった。設備停止に気が付かず停止し続ける状態も解消でき、復旧作業の手間もなくなり、非効率作業が削減できた。

### 3 まとめ

本研究では、IoTシステムを導入し環境試験機を一括管理する事で、運転状況を見える化した。更に設備稼働を維持する為の異常通知システムを構築する事で、設備を止める事なく、設備の運転維持が出来るようになった。上記2点を行う事で、現場確認作業も最小限となり、復旧作業などの非効率作業を削除する事が出来た。

加えて環境試験で重要な、製品に対して正確な温湿度環境を、正確な運転状況で与える為の監視が可能となり、試験精度も向上し、正しい環境試験結果を出す事が可能となった。

今後は、本研究で扱ったIoTシステムが、他の試験設備でも適用できる可能性があるため、応用を加えながら継続して検討を行う。

### 謝 辞

本研究の遂行にあたり、有限会社ウィン電子工業の片身剛人様に多大なる教示、ご助言を頂いた。また、東京電機産業株式会社様、株式会社飯野様も多くのご協力頂いた。ここに記して、感謝申し上げます。

### 文 献

- 1) シングルボードコンピュータ活用によるIoTシステム構築技術
- 2) Raspberry Piで学ぶ電子工作
- 3) みんなのIoT

# 試験分析高度化研究



## 試験機運転状況の可視化に関する研究

小和瀬登・石黒 聡・黒岩広樹\*

The study about visualizing operation conditions of testing equipments  
Noboru KOWASE, Satoshi ISHIGURO, Hiroki KUROIWA

現在、IoT 技術は生産現場等において仕事の効率化に欠かせない存在になっており、群馬産業技術センター内においても機器運転状況の”見える化”による業務効率化が求められている。

本研究では、IoT を活用した業務の効率化と試験機のトラブル対応の迅速化を実現するために、離れた場所でも試験機の運転状況が把握できるようなシステムの構築を行った。

キーワード：IoT、見える化、センシング、ZABBIX、Raspberry Pi、  
ネットワーク表示灯

Currently, IoT technology is indispensable for improving efficiency of work at production sites and the like. Even within the Gunma Industrial Technology Center, there is a need to improve operational efficiency by "visualizing" the operating status of equipments.

In this study, we constructed a system that can grasp the operating status of testing equipments even at a remote location in order to improve the efficiency of work using IoT and speed up the troubleshooting of the testing equipments.

Keywords: IoT, Visualizing, Sensing, ZABBIX, Raspberry Pi, Network indicator

### 1 はじめに

IoT 技術は生産現場等において仕事の効率化に欠かせない存在になっており、群馬産業技術センター（以下「センター」という）においても企業等への IoT 支援を進めているところだが、センター内では当技術の活用がほとんど進んでいない。2019年1月にセンター内で「停止したことを知りたい機器」についてアンケート調査をしたところ、20機以上の試験機器について要望があり、センター内においても機器運転状況の”見える化”による業務効率化が求められている。

また、センターの試験機は、職員室から離れている部屋に設置されているため、トラブル発生時に即時に状況把握ができない問題がある。

さらに、長期の連続試験の場合、度々不測の停止が発生してしまうと、発生タイミングによっては試験期間が2、3日後ろにずれてしまうことがある。そのため、試験依頼者の要望に応えられないことがあり、多くの機会損失が発生していると考えられる。

そこで、本研究では、IoT を活用した業務の効率化と、不測の停止時間を短くして機会損失を少なくするために、離れた場所でも試験機の運転状況が把握できるような仕組みを構築することを目的とする。

なお、本研究で構築するネットワーク構成については、依頼試験の試験条件等機密情報に関与するデータも取り扱うため、インターネット（外部）に接続せず、センターLAN のみの閉域網で構成するものとする。

## 2 研究内容

### 2.1 研究課題

センター内の試験機は新旧様々なメーカーによるものがあり、複数の機器の運転状況を管理しようとしても、機器ごとに表示が異なるため取り扱いが難しい問題がある。また、機器によっては知りたいデータを取得する機能がない場合やあったとしても使い方が難しいものもあり、情報そのものが取得できない問題もある。さらに、試験室にある試験機の異常を別室（職員室等）で確認する手段が確立されていない。以上の問題点を踏まえ、センターの様々な試験機に対応する対策を研究課題とし、各問題点に対してまとめたものを表1に示す。

表1 研究課題

問題	原因	対策 (研究課題)
機器ごとに表示が異なり使いづらい	各々異なるメーカーが作っているため	共通画面 (WEB画面) で可視化
知りたい情報が見られない	機器にデータ取得する機能がない あっても使い方が難しい	市販センサを使用したデータを取得するプログラムを作成
職員室から異常がすぐわからない	離れたところですぐにわかる手段がない	表示灯による警報発信により異常を早急に周知

### 2.2 状況把握試験機と取得データ

本研究で運転状況の把握を行う試験機は、オゾン環境試験機（サンシャインカーボンアーク灯試験機）とした。当試験機の運転状況を可視化することによって他の試験機にも同様の手段を展開できる事例につながる事が期待できる。

なお、当試験機は材料の耐候性を評価する環境試験機であり、試験条件や運転状況により試験機の出力電流や槽内の温度が変化するものである。今回はこの試験機の出力電流及び槽内温度、また試験室内温湿度を各測定用センサで取得することで、当試験機の運転状況を把握する。

### 2.3 機器構成

本研究で使用する機器の構成図を図1に示す。当試験機の温湿度等を測定器に接続したセンサにより取得し、センターLANを介してデータ収集サーバに各測定データを送信する。データ収集サーバには、WEBサーバとしての機能を持たせることで、LANに接続した端末のWEB画面より各測定データをグラフ表示するようにする。また、LANにネットワーク表示灯を設置し、測定値の任意の閾値を超過すると自動で警報を発報するシステムを構築する。

なお、今回は多数機器への汎用性を考慮し設置費用を抑えるため、測定器はシングルボードコンピュータのRaspberry Pi、データ収集サーバはオープンソース総合監視ツールであるZABBIXを使用した。

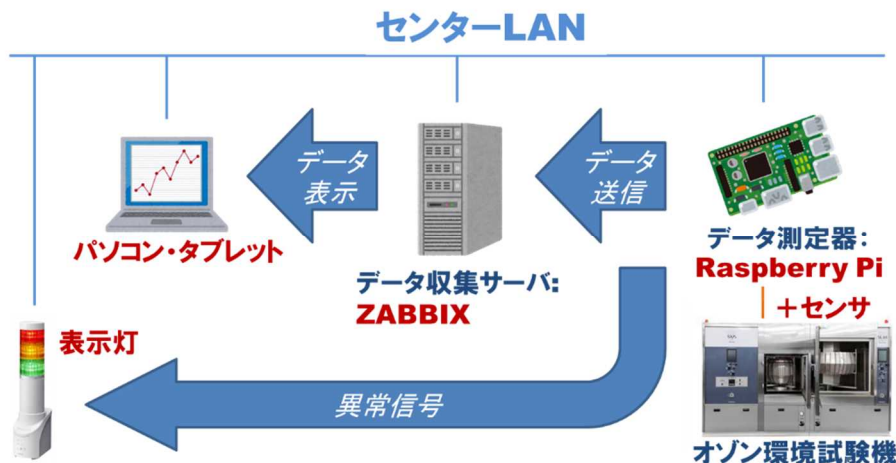


図1 機器構成

## 2. 4 使用機器

今回使用した主な機器について表 2 に示す。各センサ、モジュールはどれも安価で一般的に使用実績が多いものを選定した。Raspberry Pi と周辺機器の写真を図 2 に示す。

表 2 使用機器一覧

機能	使用機器
電流測定	CT センサ (クランプ) 100A AKW4802B
	A/D コンバータモジュール ADS1015
槽内温度測定	K 型熱電対モジュール MAX31855
室内温湿度測定	温湿度センサモジュール BME280
データと信号送信	Raspberry Pi 3 Model B+ OS:Raspbian Stretch
データ収集と表示	デスクトップパソコン OS:CentOS ソフト:ZABBIX
警報発報	ネットワーク表示灯 NHS-3FB1

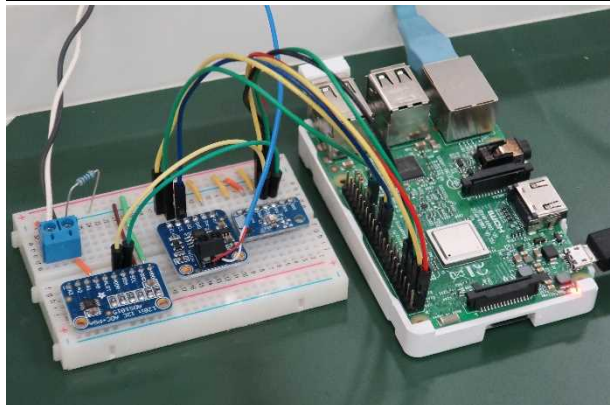


図 2 Raspberry Pi と周辺機器

## 2. 5 データ測定器の構築

### 2. 5. 1 Raspberry Pi の設定

本取り組みは長期的で複数のデータを測定するため、データ測定器は安定性の高い有線 LAN 接続と複数センサ接続が可能なインターフェースを装備する Raspberry Pi を使用した。以下の手順のとおり、データ測定器としてシステム構築した。

- 1) microSD に OS (Raspbian Stretch) を書き込み、Raspberry Pi を起動。
- 2) 固定 IP アドレスを設定。
- 3) SSH を有効化。
- 4) I2C、SPI を有効化。

### 2. 5. 2 電流測定の実装

電流測定で用いる CT センサの測定信号はアナログ信号であり、Raspberry Pi で測定するには A/D 変換が必要になるため、A/D 変換コンバータである ADS1015 モジュールを使用する。Raspberry Pi と ADS1015 モジュールは、表 3 に示すとおり Raspberry Pi 上の GPIO ピンと当モジュールピンを接続した。なお、当モジュールは I2C デバイスとして使用する。

表 3 Raspberry Pi と ADS1015 の接続

Raspberry Pi GPIO	ADS1015
01 3.3V	VDD
03 GPIO 2	SDA
05 GPIO 3	SCL
09 GND	GND
	ADDR

CT センサのクランプ部は図 3 に示すとおり、ランプ点灯回路のケーブルに取り付けた。

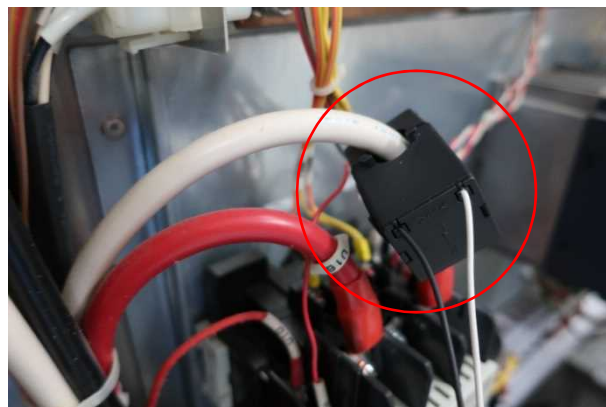


図 3 CT センサの取り付け

以上の配線後、ADS1015 のライブラリを使用し、Python による電流測定プログラムを作成した。

### 2. 5. 3 槽内温度測定の実装

槽内温度測定で用いる熱電対の測定信号はアナログ信号のため、K 型熱電対モジュール MAX31855 を使用する。Raspberry Pi と MAX31855 モジュールは、表 4 に示すとおり Raspberry Pi 上の GPIO ピンと当モジュールピンを接続した。なお、当モジュールは SPI デバイスとして使用する。

表 4 Raspberry Pi と MAX31855 の接続

Raspberry Pi GPIO	MAX31855
01 3.3V	Vin
09 GND	GND
21 GPIO 9	DO
23 GPIO11	CLK
29 GPIO 5	CS

熱電対の温度測定部は図 4 に示すとおり、槽内にくくりつける形で設置した。



図 4 熱電対の設置

以上の配線後、MAX31855 のライブラリを使用し、Python による槽内温度測定プログラムを作成した。

#### 2. 5. 4 室内温湿度測定の実装

Raspberry Pi と温湿度測定で使用する BME280 モジュールは、表 5 に示すとおり Raspberry Pi 上の GPIO ピンと当モジュールピンを接続した。なお、当モジュールは I2C デバイスとして使用する。

表 5 Raspberry Pi と BME280 の接続

Raspberry Pi GPIO	BME280
01 3.3V	Vio, CSB
03 GPIO 2	SDI
05 GPIO 3	SCK
09 GND	GND, SDO

また、BME280 のセンサ部が室温測定に適した位置になるように配置した。

以上の配線後、BME280 のライブラリを使用し、Python による室内温湿度測定プログラムを作成した。

## 2. 6 データ収集サーバの構築

### 2. 6. 1 ZABBIX サーバの構築

データ収集サーバは、耐候性試験室に設置したデスクトップパソコンにサーバとしての環境を構築した。今回使用した ZABBIX は、データベース、WEB サーバなどの機能が含まれ、当サーバにデータを送るだけでグラフの表示や設定等が容易にできる特徴をもつ。ZABBIX で構築した環境を表 6 に示す。

表 6 ZABBIX の環境

機能	パッケージ
Web サーバ	Apache
開発言語	PHP
データベース	PostgreSQL
監視ソフト	Zabbix Server
監視用モジュール	Zabbix Agent2

### 2. 6. 2 ZABBIX でのグラフ表示

Raspberry Pi から送信されたデータを ZABBIX 上で表示するには、ZABBIX 上で Zabbix Agent としてホスト登録し、各測定データはホストのアイテムとして登録する必要がある。各センサのデータを ZABBIX のグラフ表示は以下の手順のとおり実施した。

- 1) Raspberry Pi に Zabbix Agent (測定データを ZABBIX で監視できるようにするためのソフト) をインストール及び設定。
- 2) センター LAN に接続した端末のブラウザから ZABBIX サーバの IP アドレスより管理画面を開く。
- 3) Raspberry Pi のホストを作成。
- 4) 各測定データのアイテムを登録。
- 5) 各グラフ表示を設定 (レンジ等)。(図 5 参照)



図 5 ZABBIX のグラフ設定画面

- 6) Raspberry Pi 上で zabbix sender を使用した各測定データを送信す



るシェルスクリプトを作成し、Python プログラムで得られた各データを zabbix sender の値に入れて送信する。

7) ZABBIX のグラフ画面で測定結果のグラフが表示されることを確認。

## 2. 7 ネットワーク表示灯の連携

データ測定器である Raspberry Pi とネットワーク表示灯を連携させ、測定値がある閾値を超えた際に表示灯を点灯及び鳴動（警報発報）させるシステムを構築する。今回は、表示灯の発報プログラムであるシェルスクリプトを Raspberry Pi から LAN 経由で実行させる rsh（リモートシェル）プログラムを用いて動作させた。システム構築は次の手順のとおり実施した。

1) 表示灯をセンターLANに接続し、IPアドレスよりWEBブラウザから管理画面にログインし、「送信元アドレス無効時ログイン名」を設定（シェルスクリプトプログラムに必要）。

- 2) Raspberry Pi に rsh-client パッケージをインストール。
- 3) Raspberry Pi に bc コマンド（測定値と閾値との比較に必要）をインストール。
- 4) 測定値が閾値を越えた時に表示灯を制御するスクリプトを作成し、実行。

## 3 結果および考察

### 3. 1 試験機運転状況の可視化

オゾン環境試験機（サンシャインカーボンアーク灯試験機）の運転時における、試験機の実出力電流、槽内温度、室内温湿度について4日間実施した。その測定結果を表すZABBIXのグラフを図6に示す。当グラフのCTセンサと熱電対の横軸は時間軸を表し、互いに一致している。なお、当試験の試験条件は以下のとおりである。

試験条件（空調機の室温設定 23℃）：  
 サンシャインカーボンアーク灯試験機  
 BPT : 63℃  
 水スプレー : 60 分中 12 分

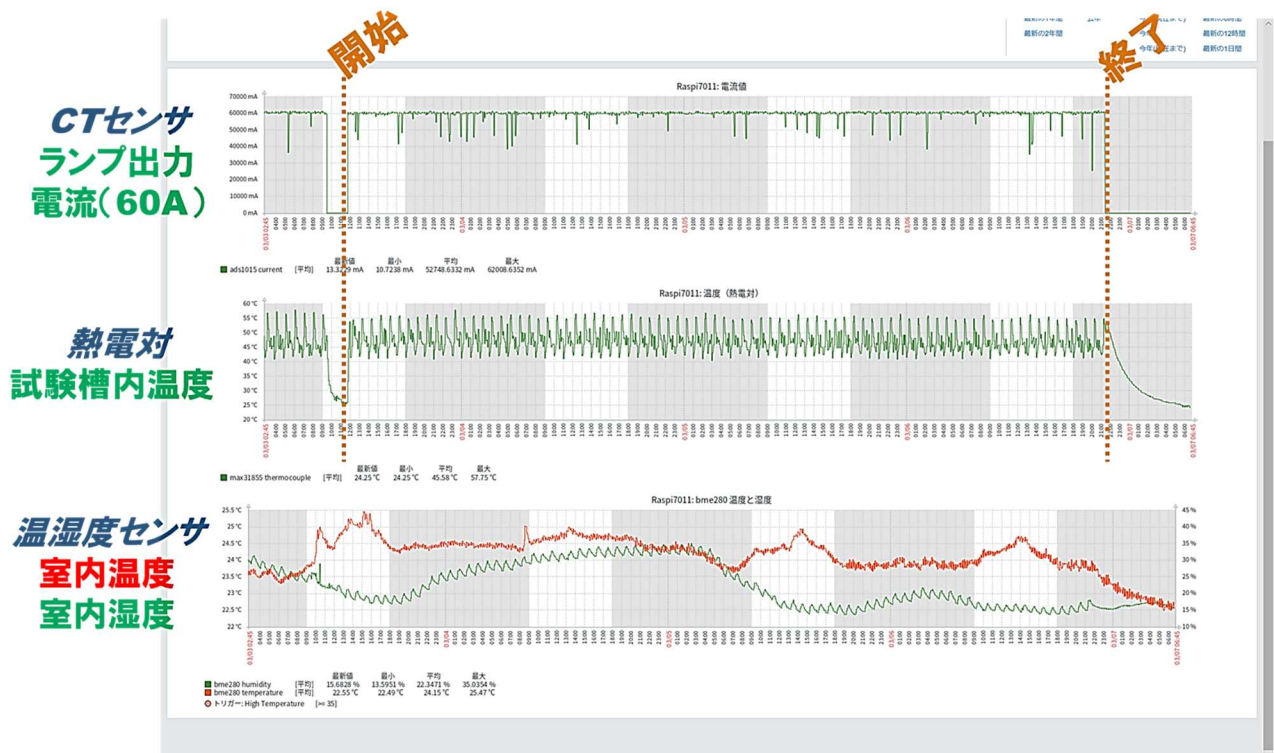


図6 オゾン環境試験機の運転状況

まず、CT センサと熱電対の挙動のうち、互いに同時に立ち下がっている箇所がわかる。この共通の立ち上がりから立下りの間は約 80 時間であり、これはカーボンの連続可能運転と一致する時間のため、当試験機の連続運転した時間がこのグラフにより可視化されている。

また、熱電対のグラフは運転時間帯において温度がある範囲で上下を繰り返している結果となっているが、これは周期的な水スプレーによる温度低下のタイミングと一致しているため、正常な運転をしていることが確認できる。

温湿度については、昼間の時間帯（非網掛け部）に一時的に上昇する挙動がわかることから、室内は常に空調機で温度管理されていても、日中の温度上昇に影響がでていることがわかる。

### 3. 2 表示灯による異常周知

室内温度が設定した閾値を超えた時、または出力電流がある値より小さくなった時に表示灯を点灯させるプログラムを作成したところ、いずれかの条件になると図 7 のように点灯とブザーが鳴動した。このように、ネットワークを介して表示灯で異常を通知することで、試験機から離れている場所でも、表示灯が視界に入る場所にあれば、試験機の異常状態をすぐに知ることができる。



図 7 ネットワーク表示灯の点灯

### 3. 3 考察

今回設置した CT センサや熱電対は非常に簡単に、メーカー保証範囲に影響もなく機器側へ設置ができることから、データ測定器の Raspberry Pi を Zabbix Agent としてセンター LAN に複数接続することで、

ZABBIX で監視できる対象機器を容易に増やすことが可能になる。また、ネットワーク表示灯についても同様のことがいえる。

しかし、今後このような監視対象が増加すると ZABBIX サーバの負荷が増え、ホストの管理やデータ容量増の対応、またセンター LAN 全体の負荷増の対応が今後の課題となる。また、ネットワーク表示灯は、今回は Raspberry Pi との連携で直接制御を行ったが、複数台を管理する場合、ZABBIX サーバで一括管理することが求められるため、この手法を確立することも今後の課題である。

## 4 まとめ

本研究により、センター LAN の環境からどこでも試験機の運転状況を把握することができ、異常を早急に周知可能にすることが実証できた。

今回の成果を、オゾン環境試験機以外の機器に展開、適用することで、センター全体の業務効率化や依頼試験等収入増が見込める。そのためには、ネットワークや ZABBIX サーバの管理に関する課題について、今後も実証を重ね、取り組むことが求められる。また、表示灯の接続が増えた場合に対しては、設置箇所や運用方法の検討が必要となる。

センター外に関しても、今回の研究実施内容は必要な機器を揃えることができれば容易に構築可能なシステムのため、様々な分野の企業への IoT 支援ツールとして展開することが期待できる。

## 参考文献

- 1) 「Zabbix 4.4 インストール手順(Cent OS8 / Apache2.4 / PHP7.2 / MySQL8.0)」, <<https://densan-hoshigumi.com/server/zabbix-4-4-apache-mysql-install>>
- 2) 「Raspberry pi+zabbix + BME280 で温度湿度気圧のロギングをする」, <<https://hotspring.hatenablog.jp/entry/2018/06/14/184408>>

## モーションキャプチャによる振動可視化とその応用

青柳大志・須田高史・坂田知昭  
岩沢知幸・黒崎紘史\*・新井宏章\*

Development of visualization method for vibration with Motion Capture System  
and exploring its application.

Hiroshi AOYAGI, Takashi SUDA, Tomoaki SAKATA, Tomoyuki IWASAWA,  
Hirofumi KUROSAKI, Hiroaki ARAI

機械や装置の振動について、モーションキャプチャの適用限界を評価した。従来から使用されている加速度検出器（ピックアップ）と比較して、同時多点3次元運動を計測できるなどの利点をもつとされている。本研究では群馬産業技術センターで導入したモーションキャプチャについてその測定精度を明らかにし、振動可視化における利用可能範囲を明確にすることを試みた。また、振動以外の物体の運動について、中小企業ニーズを想定した応用分野における適用性について検討した。

キーワード：モーションキャプチャ、画像、非接触、振動、可視化

Motion capture system has some advantages for measuring vibration, as opposed to the traditional accelerometer measurement such as measuring much more points of three dimensional motion at the same time, and so on. In this study, we evaluate the system's accuracy and its limitation when measuring vibration, especially in vibration test. In addition, we explore its application such as human motion or carrier system in factory.

Keywords : Motion capture, image, non-contact, vibration, visualization

### 1 はじめに

群馬産業技術センターでは平成30年度の試験分析高度化研究<sup>1)</sup>において、実稼働振動可視化技術の構築に関する研究を実施した。この研究では、機械や装置の振動試験や運転中の状態を想定し、破損に至る振動を可視化することを目的として行ったものである。この方法では従来から用いられている加速度検出器（以下、ピックアップ）を使用した。以下のような欠点がある。

- ・同時に計測可能な点数が、フロントエンドのチャンネル数に依存する
- ・3軸ピックアップを使用する場合、1点当たり3チャンネル使用するため同時に測定できる点数がさらに限られる
- ・物体表面にピックアップを設置するため、設置面の方向に依存した座標軸の回転など

の後処理が必要である

- ・ケーブル長が限られるため、あまり広範囲の計測は同時にできない

これらの欠点は、フロントエンドやピックアップの増設、ケーブルの中継などで対策できるが、前2点については高額な費用、3点目についてはノイズの点で限界が生じうる。そのため一般にピックアップによる、特に多点の計測は段取りや後処理に手間と時間がかかるものと認識されている。

一方、モーションキャプチャ（以下、MoCap）は画像により物体の運動を測定することができる特性をもち、上記ピックアップの欠点を大幅に克服できる可能性がある。群馬産業技術センターでは平成30年度末にモーションキャプチャを導入しており、本研究でその測定精度を定量的に把握し、振動試験における利用可能範囲を明確化する。また、巷で見られているよう

表 1. モーションキャプチャの概要

OptiTrack PrimeX 22	
仕様	スペック
解像度	2,048 X 1,088 pixel
フレームレート	30-360 fps
シャッタースピード	0.01-2.5 ms
レンズ(標準)	6.8 mm F#1.6 水平/垂直視野角 79/49°
フィルタ	850 nm IR バンドパス
光源(LED)	850 nm IR
データ入出力	GigE / PoE (1000 BASE-T)
電源	PoE or PoE+
重量	1,260 g

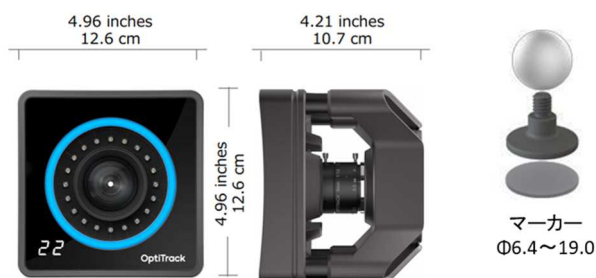


図 1. カメラ及びマーカー

にモーションキャプチャは人の動きなどに利用されている。群馬県内企業のニーズに照らし合わせると、熟練作業員の動作など、人の感覚に依存した暗黙知の定量的可視化、および人材育成への活用が考えられる。そこで上記の測定精度を前提として応用可能な範囲について検討したが、紙面の都合上、精度の定量化について主に述べる。

## 2 モーションキャプチャ

本研究で使用した群馬産業技術センターが保有するシステム (Acuity 社 (旧 OptiTrack 社) 製) の概要を表 1 及び図 1 に示す。いくつかの機種の中で最大のフレームレートであり、画素 (ピクセル) 数も上位の機種である。測定精度は別の機種による例であるが、平均  $15 \mu\text{m}$  ~  $20 \mu\text{m}$  とされている<sup>2)</sup>。カメラ全面に設置された LED から赤外光を放射する。運動を追跡したい対象物表面に球体の赤外線マーカーを設置し、その反射光を複数台のカメラで追跡することによって運動を追跡する。センターで保有するカメラは 4 台である。最大のフレームレートが 360 fps、すなわち 360 Hz となっているため、分析可能な振動の周波数はサンプリング定理により 180 Hz 以下に限定される。システムは PC の専用ソフトで制御を行い、取得したデータは後処理で分析する。

## 3 精度の定量的把握

### 3. 1 精度の検証手法

モーションキャプチャ (以下、MoCap) を物体の振動に適用する際の精度を定量的に評価するため、振動試験機を用いて精度の検証を行った。その際、精度の基準として 1D レーザ変位センサ (Keyence 社製、LK-G150) を用いた。センター所有機器の中で、変位を最も正確に測定できるためである。MoCap の精度は、ある振動条件で加振させた振動台の動きを MoCap とレーザ変位センサで同期計測し、比較することで行う。精度検証するに当たって MoCap の測定精度に影響すると思われる要因と水準を表 2 に示す。大別して加振条件と撮影条件に分けられ、以下主だった注意点について述べる。加振条件のうち、振幅と周波数は振動試験機のスペック上、周波数を増加させると加振可能な振幅が低下するため同時に変更した。またカメラ配置は、図 2 に示すように対象物に対してカメラ 4 台を直線または直交で配置することを意味する。キャリブレーション品質は、計測前に行うキャリブレーションのレベルで、Poor が最低、Exceptional が最高である。表では記載していないが、測定中に残差 (Residual、キャリブレーションの質の指標) もモニタしており、別途この値も記録した。残差はキャリブレーションをした後もカメラ自身の位置ずれや気温の変化などによって悪化するため、実験中に残差に大きな変化がないことを確認しながら行った。サンプリング周波数は MoCap とレーザ変位センサを比較可能な最大周波数 256 Hz で固定し、1 条件での計測時間は約 2 分 (時間データ長

表 2. 精度検証の要因と水準

要因	パラメータ	水準
加振条件	振幅 mmp-p, 周波数 Hz	10, 5/4, 25/2, 50/1, 100
	加振方向	水平/垂直
	マーカーサイズ	Φ6.4/12.7/19.0
撮影条件	カメラ配置	直線/直交
	キャリブレーション品質	Poor/Exceptional



サンプリング周波数 256Hz, 約2分間測定

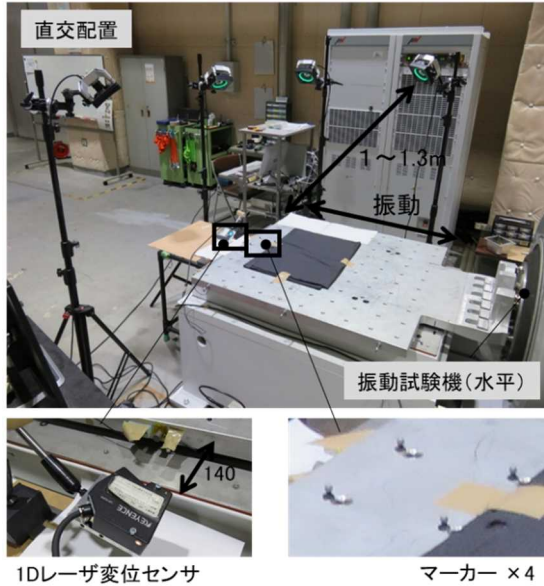


図 2. 実験

33,000 点程度)、カメラとマーカー間の距離は 1~1.3m で固定した。このような計測を、表 2 のパラメータ水準の全組み合わせ 96 条件について実施し、それぞれの要因の傾向把握を試みた。なお、MoCap 用マーカーは 4 つ設置し、ソフトで計算されるそれらの重心 (Rigid Body) の位置変化をレーザの結果と比較した。

### 3. 2 実験結果

計測結果の 1 例を図 3 に示す。横軸が時間、縦軸が変位量に相当する。レーザと MoCap で変位を重ねると、各時刻で両者に差があることが分かる。ここでは、レーザの変位を基準とした誤差 (Difference) を全時刻について算出し得られた分布の例を図 4 に示す。誤差の大きさ (中央値: 各グラフの太い横線) は 0.2mm 以上で、加振振幅が小さく (周波数が高く) になると誤差が大きくなることが分かる。また明瞭とは言えないが、マーカーサイズが小さくなると誤差のばらつきが大きくなるようである。他のパラメータについても検討して得られた知見を以下に示す。

- ・キャリブレーション品質 Poor/Exceptional による誤差の違いは見られない。
- ・垂直方向の振動の方が水平方向より誤差のばらつきが大きい。
- ・カメラ配置は直交配置の方が直線配置よりばらつきが大きい。

以上は時間領域で比較した場合であるが、周波数領域では片振幅で平均して 0.025 mm、標準

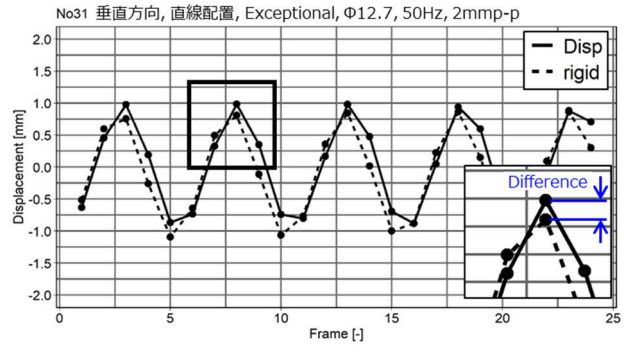


図 3. 測定例 (横軸: 時間、縦軸: 変位)

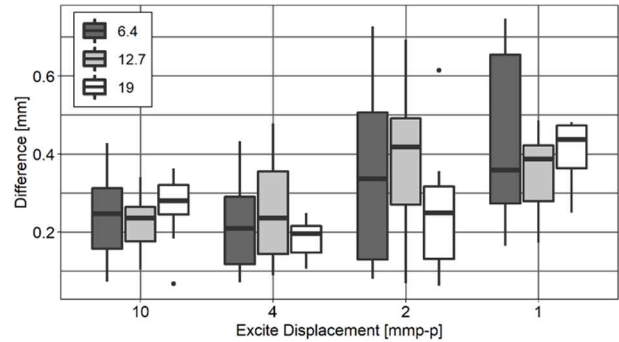


図 4. 加振振幅とマーカーサイズの関係

偏差 0.087 mm であった。全条件での最小、最大で見ると -0.235 mm, 0.328 mm の誤差が出る場合があった。以上の結果を考慮し、振動の可視化におけるモーションキャプチャ適用の目安として、本研究では振幅 2mmp-p 以上、100Hz 以下と考える。図 5 に、センターの振動試験機スペック上における適用範囲を示す。もちろん、計測に必要な精度は目的に応じて異なるため、その妥当性については適宜検討する必要があることは言うまでもない。

## 4 応用分野

以上の結果から、モーションキャプチャは振

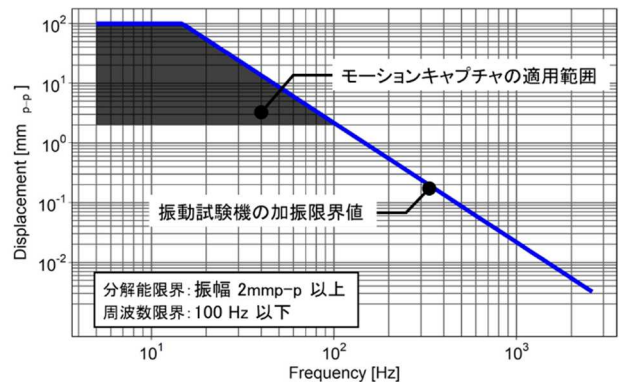


図 5. モーションキャプチャの適用範囲

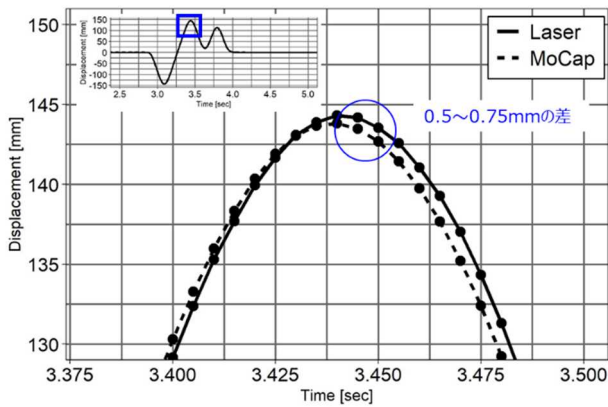


図 6. モーションキャプチャの適用範囲

動試験と比較して大きな変位を伴い、かつ現象の時間スケールが長い過渡運動に向くと云える（衝撃など瞬間的な現象は困難）。本研究では群馬県内中小企業のニーズを反映する分野として、以下の動作を検討した。

- ・搬送機構など機械的な運動
- ・工場などにおける作業動作

機械的な運動と人の動作では運動の次元（1次元,2次元,3次元）及び動作の再現性の点で、後者の方が計測、分析ともに難易度が高い。そこで本研究では以下の3ステップで検証を進めることとした。

1. 直動シリンダの1次元運動
2. 搬送機構の3次元運動
3. 人の3次元運動

2については群馬県企業の協力の下で実施したが、機密のため1と3について概要を報告する。

#### 4. 1 直動シリンダの1次元過渡運動

実験はいくつかの条件で行ったが、その中で最大の速度 1000 mm/s での実施例を図 6 に示す。MoCap の妥当性は振動の場合と同様に1次元レーザ変位センサを基準とし、可動部にマーカーを設置して実施した。その結果、図に示すように最大 0.5~0.75mm の差が生じることが分かった。全体のストローク (150mm) に比べると 0.5%に過ぎないことから、この程度の変位量および速度の運動であれば十分に把握できることが確認できた。

#### 4. 2 人の3次元過渡運動

より複雑かつ再現性が低い人の運動について、けん玉の動作を例に計測を試みた。けん玉を採用した理由は誰にでもイメージすることができるためであるが、この試みの本来の目的

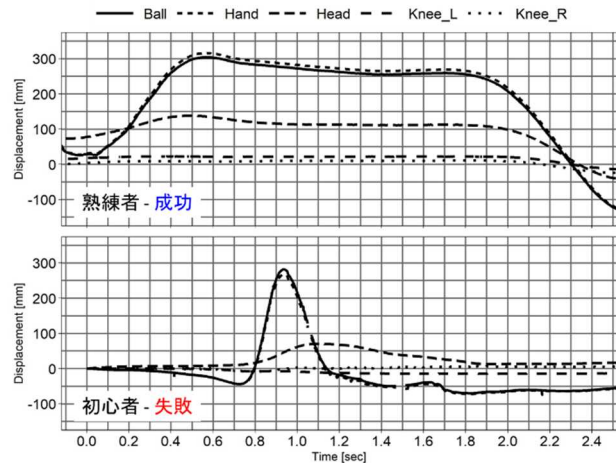


図 7. 熟練者と初心者の動作の比較

は熟練作業者の技術を数値化し、いわゆる”コツ”を言語化することによって人材育成を促進することにある。熟練者による「膝、手、頭部の動作にコツがある」というひと言からそれぞれにマーカーを固定して計測した。熟練者と初心者でそれぞれの動きを比較した結果を図 7 に示す。熟練者は各部の動きが安定しており、頭と手が連動している一方、両膝はほぼ静止していることが分かる。また、頭と手の間隔が小さいことも見て取れる。

以上の検討から、他の動作についても”コツ”を定量化する見通しが得られたが、技術として構築するための課題もまた把握することができた。下記にそれを示し、結びとしたい。

- ・図 7 初心者の結果に見られる途切れのように、マーカーが死角に入ることによってデータが途切れる事象に対する対策
- ・3次元運動を関節の動きや姿勢などのように人が分かる表現に変換するノウハウ
- ・視線方向や重心のかけ方など、動作を表す他の物理量と組み合わせることによるより詳細な運動の分析手法の構築

#### 参考文献

- 1)青柳 大志ほか, 群馬県立産業技術センター研究報告 平成 30 年度, 「実稼働振動可視化技術の構築」(2017).
- 2)OptiTrack の品質, <https://www.acuity-inc.co.jp/pickups/knowhow/docs/20171122/>

# 雰囲気制御型メルトフローレイト試験機の開発

田島 創

Development of the atmosphere controlled melt-flow-rate tester

So Tajima

メルトフローレイト(MFR)試験では、樹脂の流れる量により、熱可塑性樹脂の基礎的な性質を素早く安価に測定することができる。しかし、酸素存在下では、熱可塑性樹脂の熱酸化劣化反応が生じることが問題となっていた。そこで本研究では、熱可塑性樹脂の熱酸化反応の割合を低下することを目的として、加熱炉内の雰囲気を制御する MFR 試験機を開発した。ポリプロピレンの MFR 値をこの新しい装置により測定した場合、加熱炉内に窒素を導入すると、空気を導入した場合に比べ MFR 値が低下した。一方、ABS 樹脂の測定では、加熱炉内に導入した酸素量が増すと樹脂の MFR 値が増加した。これらの結果から、この雰囲気制御型 MFR 試験機は、装置内で生じる熱酸化・劣化反応を防ぎ、熱可塑性樹脂の性質を調べる装置として有用であることが示唆された。

キーワード：メルトフローレイト試験機、雰囲気制御

The determination of the melt-flow-rate (MFR) is a quick and inexpensive knowledge about the basic properties of thermoplastics processing, which is the flow rate. However, it has been concerned that the occurrence of the heat oxidation degradation reaction of the thermoplastics under oxygen atmosphere in the heating furnace. In the purpose of decreasing proportion of the heat oxidation degradation reaction of the thermoplastics, the MFR tester which could control the gas conditions in the heating furnace has been developed. The MFR value of the polypropylene under nitrogen condition, relatively low MFR value was obtained compared to that in the case of aerated condition. On the other hand, in the case of ABS resin, the MFR values increased with increasing the concentration of oxygen in the heating furnace. These results suggest the MFR tester is useful for the prevent the heat oxidation degradation and also for the studies of properties of the thermoplastics.

Keywords : melt-flow rate tester、 control the gas conditions

## 1 まえがき

熔融した熱可塑性樹脂の流れ量を示すメルトフローレイト値(MFR 値)は、合成樹脂材料の性質を示す指標の中でも最も重要なものの一つである<sup>1-3)</sup>。MFR 値は、合成樹脂を加熱炉の中で加熱・熔融した後、ピストンで押し出すことにより測定する。この空気飽和下での加熱・熔融は、樹脂の熱酸化による劣化を促進するため、同一の合成樹脂であっても加熱炉内での滞留時間が長くなることで MFR 値

が 10%以上変化する場合があります、問題となっていた。本研究では、MFR 試験機に不活性ガスを導入する機構を新たに設け、加熱炉内での熱可塑性樹脂の劣化を防ぐ新しい試験機を開発することを目的とした。この試験機では、加熱炉内に窒素や酸素を導入する機構を実装した。この装置でポリプロピレン(PP)及びアセチレン-ブタジエン-スチレン樹脂(ABS 樹脂)について窒素雰囲気下、空気飽和下及び酸素雰囲気下で MFR 値を測定した。加熱炉内での酸素濃度の違いによる MFR 値から、本研究で開発した雰囲気

制御型 MFR 試験機の効果を検証した。

## 2 方法

### 2.1 雰囲気制御型 MFR 試験機の仕様

本研究で開発した雰囲気制御型 MFR 試験機（以下、試験機）の仕様を表 1 に示す。この試験機は、東洋精機製作所製完全自動化システム 520 に加熱炉内雰囲気を制御するガスを導入する機構を実装したものである。この試験機の外観構成を図 1 に示す。

表 1 開発した低劣化 MFR 試験機の仕様

項目	仕様
試験機本体	東洋精機製作所製完全自動化システム 520
試験荷重 (kgf)	1.3, 2.16, 5, 10
試験温度 (°C)	60 ~ 400
炉内容積 (cm <sup>3</sup> )	約 20
試験炉内雰囲気	窒素、空気、酸素、アルゴンなど
ガス導入量 (SCCM)	10 ~ 300
ガス導入部	加熱炉

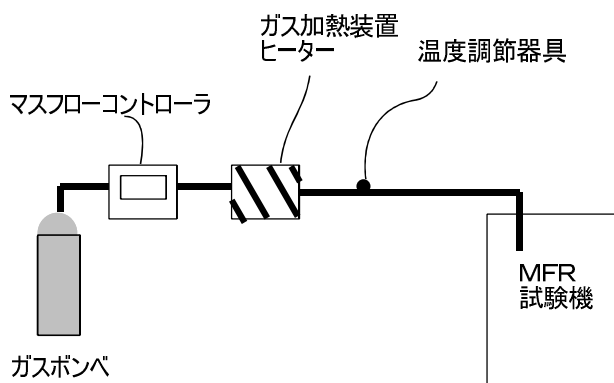


図 1 この試験機の外観構成

### 2.2 開発した装置のガス導入部・工程

本研究で作成したガス導入部の外観構成を図 2 に、ガスを導入している写真を図 3 にそれぞれ示す。図 2 中の数字は、1: 熱可塑性樹脂、5: ガス導入ノズル、5-1: ガス、6: 加熱炉内空間、7: 加熱炉(断面)、8: 熔融後の熱可塑性樹脂が流れ出すオリフィスをそれぞれ示す。

### 2.3 熱可塑性樹脂

熱可塑性樹脂として、PP 及び ABS 樹脂 (ABS) を用いた。

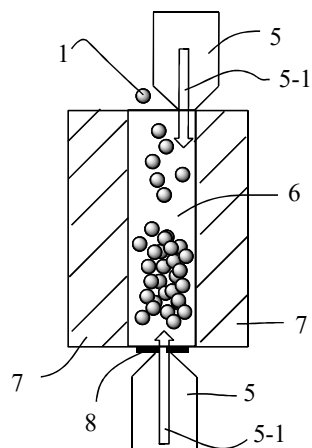


図 2 MFR 試験機のガス導入部の外観構成一部断面

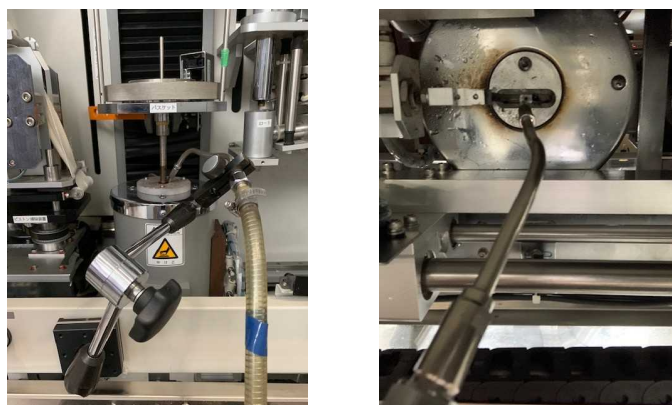


図 3 加熱炉内へのガス導入時の外観写真

### 2.4 MFR 値の測定

MFR 値は、東洋精機製作所製完全自動化システム 520 を用いて測定した。測定温度及び試験荷重はそれぞれの熱可塑性樹脂に適した温度及び荷重を選択した。試験に用いた樹脂量は約 5 g とした。加熱炉内の雰囲気は、窒素、空気及び空気のいずれか 1 種を選択した。酸素濃度は、窒素雰囲気で 1 vol% 程度、空気飽和下で 20 vol%、酸素雰囲気では 95 vol% と見積もった。加熱炉内での保持時間は、1 回目の MFR 値 (MFR1) の測定で 240 秒、2 回目の MFR 値 (MFR2) の測定で 330 秒とし、この MFR1 と MFR2 の違いにより炉内での保持時間の差である 90 秒間での劣化の有無を評価した。



### 3 結果

#### 3.1 空気飽和化での MFR 値

従来の MFR 試験機において、炉内温度 190℃、空気飽和化で MFR 値を測定した。3 種類の PP の測定値として MFR1 と MFR2 とを比較すると、MFR1 より MFR2 が 10 % 程度大きな値となった。MFR 値と熱可塑性樹脂の分子量分布とは、負の相関を示す<sup>4)</sup>。群馬県立産業技術センターでは、今まで約 1000 回の MFR 測定を行ってきたが、この MFR1<MFR2 となる傾向は、他の多くの熱可塑性高分子材料においても認められた。加熱炉内容積から算出されるこの炉内に存在する酸素量は、 $1.8 \times 10^{-4}$  mol であり、ポリエチレンについて報告されている 150℃での吸収酸素量は約  $2.0 \times 10^{-4}$  mol/5g であることから<sup>5)</sup>、この炉内には高分子材料が加熱酸化するのに十分な酸素が存在することが確認できた。これらのことから、従来の MFR 試験機すなわち空気飽和下の試験機では、MFR 測定時の加熱炉内で熱可塑性樹脂の熱酸化や劣化が生じていることが示唆された。

#### 3.2 窒素雰囲気下での MFR 測定

空気飽和下での MFR 値の測定で熱可塑性樹脂の MFR 装置内での熱酸化及び劣化反応が生じていることが示唆された。高分子材料の熱劣化の初期反応は、熱酸化反応であることから<sup>5)</sup>、この劣化を防ぐため、MFR 装置の炉内に不活性ガスである窒素を導入する機構を設け、熱可塑性樹脂の MFR 値を測定した。なお、この不活性ガス導入機構は、検討した結果、加熱炉下のオリフィス部から導入する構造にしたとき、雰囲気ガスの置換効果が最も高いことを確認した。置換用のガスの導入は、測定時の工程として溶融した熱可塑性樹脂を押し出すピストンの加熱工程と熱可塑性樹脂の導入工程と同時に導入すると、従来の試験機の駆動機構などを邪魔することなく実施できた。

PP 樹脂及び ABS 樹脂を測定対象として窒素雰囲気下及び空気飽和下での MFR 値の測定を行った。更に、より高い酸素濃度条件で測定するため、窒素の代わりに酸素を導入した実験も同様に実施した。この結果の一覧を表 2 に示す。表 2 に示した酸素濃度毎の MFR 値の

棒グラフを図 4 に、酸素濃度に対する MFR 値を図 5 にそれぞれ示す。

表 2 酸素濃度毎の MFR 値

高分子材料 酸素濃度 vol%	ポリプロピレン		ABS	
	MFR1	MFR2	MFR1	MFR2
1	5.92	5.91	4.03	4.09
20	6.36	6.39	4.09	4.48
95	6.47	6.41	4.87	5.12

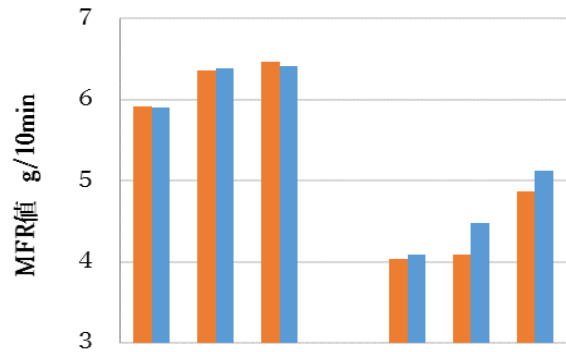


図 4 酸素濃度毎に測定した MFR 値

左 3 列) PP 樹脂 右 3 列) ABS 樹脂

各棒グラフ左側は MFR1 を右側は MFR をそれぞれ示す

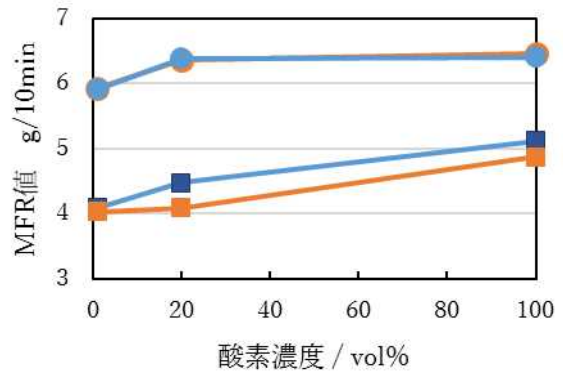


図 5 酸素濃度に対する MFR 値

○: PP 樹脂、□: ABS 樹脂

この PP 樹脂では、どの雰囲気下でも MFR1 と MFR2 とでは大きな差は認められなかった。MFR1 のみ比較した場合、空気飽和下に比べ窒素雰囲気下では、MFR 値は約 7% 低下した。酸素雰囲気下では、空気飽和化の MFR 値と大きな違いは認められなかった。これらの結果から、窒素雰囲気下では、PP 樹脂の熱酸化とこれに伴う劣化反応を低減できたことが示唆された、また、前述したようにこの試験機では、その加熱炉内にオ

レフィン系樹脂が吸収する酸素量の上限に近い酸素が存在している。このため、酸素を任意に増やしたとしてもこの PP 樹脂に吸収される酸素の効果は限定的になったと考えた。

一方、ABS 樹脂では、MFR1 と MFR2 とを比較すると、窒素雰囲気下で 1.5 %、空気飽和下で 9.5 %、酸素雰囲気下で 5.1 %となり、いずれの条件でも増加した。窒素雰囲気下での MFR1 と MFR2 の変化率は空気飽和下や酸素雰囲気下と比較した場合低くなっていることから、窒素雰囲気下での MFR 値の測定は、炉内で発生する MFR 測定時の劣化反応を低減していることが確認できた。各条件で MFR1 のみを比較した場合、窒素雰囲気下と空気飽和下とはほぼ一定の値だが酸素雰囲気下では約 20 %増加した。炉内の酸素濃度の増加は、ABS 樹脂を炉内に導入した後の加熱工程において、高分子材料の劣化に強く影響を与えると考えられた。

### 3. 3 特許出願

本研究で開発した雰囲気制御型 MFR 試験機について、特許庁の HP 等を活用し検索した結果、新規性が認められた。このため、本研究の一部を含む発明を特許として出願した（特願 2019-184286）。

## 4 まとめ

雰囲気制御型 MFR 試験機を開発した。

この試験機では、従来の試験機では測定し得なかった、高分子材料の熱酸化及び熱劣化反応を低減した MF 値の測定が可能となった。

## 文 献

- 1) 田島ら、群馬県立産業技術センター研究報告、33 (2012)
- 2) 特許第 6089244 号
- 3) 特許第 6232598 号
- 4) 安永茂樹、プラスチック、11, 82-87, 2012
- 5) 大澤善次郎、高分子の劣化と安定性

# 高分子フィルムの混合ガス透過性評価技術の確立

牛木龍二・恩田紘樹\*

Establishment of evaluation technology of gas permeability of polymeric film  
under the environment of mixed gas atmosphere

Ryuji USHIKI, Koki ONDA

本研究では混合ガス存在下における高分子フィルムのガス透過性評価装置を試作した。汎用性フィルムであるLDPE(low density polyethylene)フィルムに対する窒素、酸素、二酸化炭素透過試験を行ったところ、ガス透過度は文献値とほぼ一致したことから、混合ガス存在下でも本試作装置によりガス透過性を評価できることを確認できた。また、20℃における飽和蒸気圧分の水蒸気存在下で窒素、酸素、二酸化炭素透過性評価を行ったところ、二酸化炭素の透過度が乾燥条件と比較し、40%減少した。これは、フィルム表面に結露した水に二酸化炭素が溶解したためと推測された。このように本研究で試作したガス透過性評価装置により、水蒸気の存在によるガス透過性変化の評価も可能なことが示唆された。

キーワード：ガス透過性、混合ガス、LDPEフィルム

In this study, the gas permeability evaluation apparatus was manufactured to evaluate gas permeability of polymeric film under the environment of mixed gas atmosphere. When the gas permeability of low density polyethylene (LDPE) film was evaluated in the presence of nitrogen (N<sub>2</sub>), oxygen (O<sub>2</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) mixture, the values of gas permeability were approximately consistent with the values reported in the literature. This result confirmed that the gas permeability of polymeric film could be evaluated by using the designed apparatus. Then, when N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> permeability of LDPE film was evaluated under the saturated vapor pressure at 20 °C, CO<sub>2</sub> permeability was decreased by 40% as compared with dry condition. From this result, it was conjectured that CO<sub>2</sub> was resolved in condensed water on LDPE film. Finally, gas permeability in the presence of vapor could be also evaluated by using the designed apparatus.

Keywords : gas permeability, mixed gas, low density polyethylene

## 1 はじめに

高分子フィルムは軽量でフレキシビリティが高いため、食品や電子部品等の包装、ガス分離膜等様々な用途で用いられる。それぞれの用途に応じて高分子フィルムに求められるガス透過性能は異なり、センターにおいても様々な種類の高分子フィルムのガス透過性能に関する相談や問い合わせが増えている。このことを踏まえてセンターでは、単一ガスに対する高分子フィルムの

ガス透過性を差圧法により評価する装置を作製した<sup>1)</sup>。

一方、実際には高分子フィルムは単一ガス環境下で使用されることは稀で、ほとんどの場合は複数種類のガスが混在した環境下で使用される。そこで本研究では、混合ガス環境下におけるガス透過性評価を可能とすることを目的に、既設のガス透過性評価装置を改良した。さらに本装置を用いて低密度ポリエチレン(LDPE)フィルムの窒素(N<sub>2</sub>)、酸素(O<sub>2</sub>)および二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)

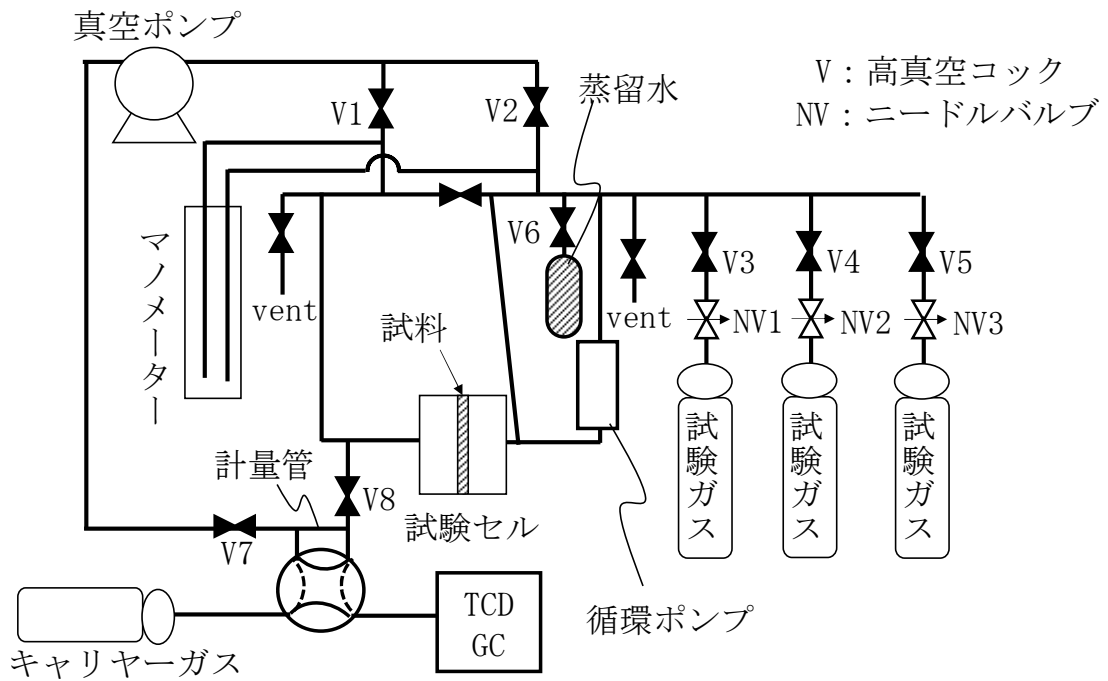


図 1 本研究で作製した混合ガス透過性評価装置の設計模式図

ガス透過性を測定し、文献値と比較することで結果の信頼性について検証した。さらに、本装置の利用例として、水蒸気存在下における LDPE フィルムの  $N_2$ 、 $O_2$  および  $CO_2$  ガス透過性についても評価したので報告する。

## 2 実験

### 2.1 混合ガス透過性評価装置の作製

本研究で作製した混合ガス透過性評価装置の設計模式図を図 1 に示す。配管には外径 10mm(肉厚 1mm)の PYREX<sup>®</sup>製ガラスを用い、バルブには三商製高真空コック(z 型 8mm)(V)、真空ポンプに佐藤真空製ベルト駆動型油回転真空ポンプ(TSW-50N)を用いた。

試験セル部には、外径 17mm(肉厚 1.5mm)の PYREX<sup>®</sup>製ガラスを用いた。また試験セル部に試料を設置する際、試料のたわみを防ぐため、久宝金属製作所製のステンレス網(20 メッシュ)で挟んだ。なお、ステンレス網および試料の接着には、ハンツマン・ジャパン製エポキシ系接着剤アラライト(ラピッド)を用いた。このようにして作製した試験セル部の断面積は  $1.54 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  だった。

試料を隔てて試験ガスが導入される側を常圧側、その反対側を減圧側とした。常圧側に循環ポンプを組み込むことで任意組成の混合ガスを調製できるようにし、また常圧側に水蒸気の導入を可能とするため、蒸留水の入ったガラス容器を組み込んだ。減圧側には、試料を透過したガスを定量分析するため、熱伝導度検出器型ガスクロマトグラフ(TCD-GC)(GC-8A、島津製作所製)を組み込んだ。この時、常圧側および減圧側の体積はそれぞれ  $195.5 \text{ cm}^3$  および  $179.9 \text{ cm}^3$  だった。

### 2.2 高分子フィルムのガス透過性評価

真空ポンプを作動させ、V1 を開けて減圧側を排気し、続いて V2、V3、V4 および V5 を開けて常圧側を排気した。この状態を 1 時間保持した。V1、V2、V3、V4 および V5 を閉じ、排気を終了した。次に NV1 および V3 を開けて常圧側に  $N_2$  ガスを導入した。同様に NV2 および V4 を開け  $O_2$  を、NV3 および V5 を開け  $CO_2$  を導入した。その後、循環ポンプを用いて 30 分間攪拌し、 $N_2$ 、 $O_2$ 、 $CO_2$  混合ガスを調製した。なお、水蒸気存在下で試験を行う際には、V6 を開け水蒸気を導入した後、 $N_2$ 、 $O_2$  および  $CO_2$  を導入した。



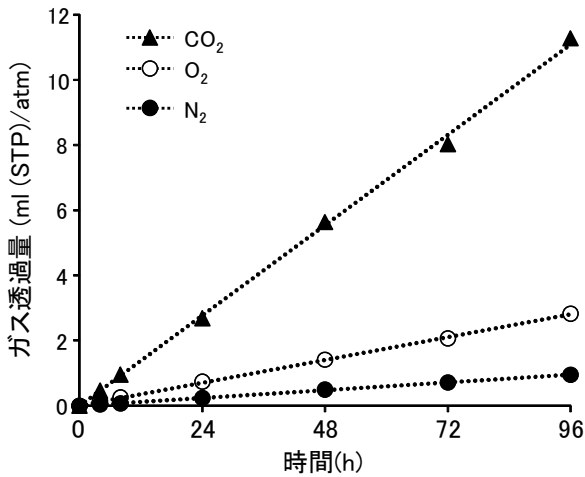


図2 乾燥条件下におけるLDPEフィルムの各種ガス透過量の経時変化

ガス透過量測定の際にはV7を開け計量管(容積8.9ml)内を排気した後、V7を閉じてからV8を開け4、8、24、48、72および96時間後に減圧側に透過したガスを計量管に導入した後、四方切替バルブによりTCD-GCに導入した。なお、GCカラムには信和化学製カラム(Shincarbon ST 内径3mm×長さ6m)を用い、カラムオープン温度40℃で12分間保持した後、昇温速度10℃/minで200℃まで昇温した。また、キャリアガスにはHeを用いた。

TCD-GCで得られたピーク面積値からそれぞれのガス透過量を求め、式1によりガス透過度Rを算出した。

$$R = \frac{D}{T \times A \times t \times \Delta p} \quad \dots \text{式1}$$

R: ガス透過度 [ml/(m<sup>2</sup>·24h·atm)]

D: ガス透過量 (ml(STP))

T: 試験温度 (K)

A: 透過面積 (1.54×10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>)

t: 透過時間 (24h)

Δp: 常圧側ガスの分圧 (atm)

### 3 結果および考察

#### 3.1 LDPF フィルムのガス透過性評価

混合ガス透過性評価装置の性能を評価するため、厚み100μmのアズワン製LDPEフィルムを試料セルに設置した後、試験セル温度を20℃に保持しながら混合ガス透

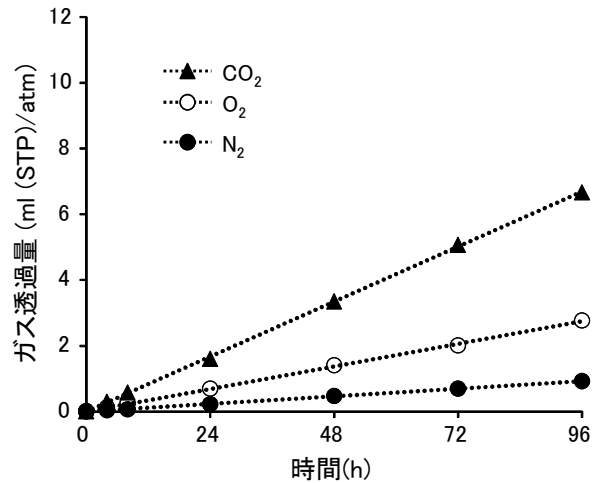


図3 湿潤条件下におけるLDPEフィルムの各種ガス透過量の経時変化

過性評価装置の常圧側にN<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>をそれぞれ500torr、80torrおよび45torrとなるように充填した。この時のLDPEフィルムの各ガス透過量D/Δpの経時変化を図2に示す。N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>の24時間あたりのガス透過量ml(STP)/24h/atmはそれぞれ0.241ml(STP)/24h/atm、0.736ml(STP)/24h/atmおよび2.695ml(STP)/24h/atmだった。

LDPEフィルムに対するN<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>の透過度を式1により算出したところ、それぞれ1.56×10<sup>3</sup>、4.78×10<sup>3</sup>および1.75×10<sup>4</sup> ml(STP)/(m<sup>2</sup>·24h·atm)となった。LDPEフィルムに対するN<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>透過度はそれぞれ1.00×10<sup>3</sup>~1.30×10<sup>3</sup>、3.00×10<sup>3</sup>~4.00×10<sup>3</sup>および1.50×10<sup>4</sup>~2.00×10<sup>4</sup> ml(STP)/(m<sup>2</sup>·24h·atm)と報告されており<sup>2)</sup>、本実験で得られた数値と概ね一致した。このことから、本研究で作製した混合ガス透過性評価装置を用いて高分子フィルムに対する混合ガス透過性評価ができることが示唆された。

#### 3.2 水蒸気存在下でのガス透過性評価

高分子フィルムはドライ環境下だけでなく、水蒸気存在下で使用されることも想定される。また、各種ガスのガス透過性は水蒸気の有無によって変動する事が報告されている<sup>3), 4)</sup>。このことを踏まえて本節では、混合ガス透過性評価装置を用い、水蒸気がLDPEフィルムのガス透過性に及ぼす影響について評価するため、常圧側に飽和蒸気

圧(21 torr)分の水蒸気を加えた後、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> をそれぞれ 500torr、80torr および 45torr となるように導入し、LDPE フィルムの N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> 透過性評価を行った。この時の LDPE フィルムの各ガス透過量  $D/\Delta p$  の経時変化を図 3 に示す。N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> の 24 時間あたりのガス透過量 ml(STP)/24h/atm はそれぞれ 0.223 ml(STP)/24h/atm、0.693ml(STP)/24h/atm および 1.603 ml(STP)/24h/atm だった。

式 1 より、LDPE フィルムに対する N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> の透過度はそれぞれ  $1.45 \times 10^3$ 、 $4.50 \times 10^3$  および  $1.04 \times 10^4$  ml(STP)/(m<sup>2</sup>·24h·atm) となり、CO<sub>2</sub> の透過度のみ乾燥条件下と比較し 40%低下した。

次に、試験セル温度を 30°C に昇温して同様の試験を行ったところ、CO<sub>2</sub> の 24 時間あたりのガス透過量は 2.381ml(STP)/24h/atm であり、透過度は  $1.55 \times 10^4$  ml(STP)/(m<sup>2</sup>·24h·atm) となった。このように、試料セル温度を 30°C に昇温することで、乾燥条件下での透過度に近い値と示した。

試験セル温度 20°C の場合、CO<sub>2</sub> の透過度が水蒸気存在下と乾燥条件下とで異なる値となったのは、水蒸気の結露により高分子フィルム表面に液体の水が存在することで、CO<sub>2</sub> が水に溶解したためと考えられた。

このように、本研究で試作した混合ガス透過性評価装置を用いることで水蒸気存在下でのガス透過性評価も可能であることが示唆された。

## 5. まとめ

①混合ガス透過性評価装置を用い N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 混合ガスの透過性試験を行った結果、乾燥条件下では LDPE フィルムに対する各種ガス (N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>) 透過度は文献値と概ね一致した。このことから、本装置を用いることで混合ガスの透過性をガス種毎に一斉に評価できることが示唆された。

②CO<sub>2</sub> 透過度は湿度環境によって変化することができた。

このようにセンターで自作した混合ガス透過性評価装置を用いることで、種々の高分子フィルムのガス透過性を評価できるこ

とが示唆された。今後、様々な実際の使用環境下を模擬した条件でのデータの蓄積を行っていきたい。

## 文献

- 1) 牛木龍二, 恩田紘樹, 群馬産業技術センター研究報告, 43-45(2017)
- 2) 機能性食品包装材料 石谷 p73
- 3) 松宮紀文, 井上紀夫, 真野弘, 原谷賢治, 化学工学論文集 25 巻, 3 号, 367-373(1999)
- 4) 箕浦憲彦, 仲川勤, 化学と工業化学, 1976 巻, 8 号, 1271-1276 (1976)

# ガスクロマトグラフ質量分析におけるヘリウムに代わる キャリアガスの使用検討

小林興尚・小松秀和

Study about the use of carrier gas instead of helium in gas chromatograph mass spectrometry

Okihisa KOBAYASHI and Hidekazu KOMATSU

ガスクロマトグラフ質量分析計のキャリアガスとして一般的に使用されるヘリウムガスが世界的供給不足に陥っていることから、窒素ガスを代替えガスとして用い、定性分析可能か検討した。窒素ガスをキャリアガスとして使用して8種の成分を含有した標準試薬を分析したところ、5種の成分について定性が可能であり、高い強度を示す成分についてはヘリウムガス使用時と同様に定性可能であることが示唆された。また、増設した窒素ガス配管を活用することで、週間ヘリウムガス使用量を約52%削減できることが分かった。

キーワード：ガスクロマトグラフ質量分析、ヘリウム、窒素、キャリアガス

Since helium gas, which is commonly used as a carrier gas for gas chromatograph mass spectrometry, is in short supply worldwide, we examined whether qualitative analysis was possible by using nitrogen gas as a substitute gas. Analyzing a standard reagent containing eight components using nitrogen gas as a carrier gas, it is possible to qualify five components, and to qualify components with high strength as equivalent as when using helium gas. Furthermore, it was found that the weekly helium gas consumption can be reduced by about 52% by using the expanded nitrogen gas piping.

KEY WORD: gas chromatograph mass spectrometry, helium, nitrogen, carrier gas

## 1 はじめに

群馬産業技術センター（以下「当センター」という。）では、これまでガスクロマトグラフ質量分析計（以下「GC-MS」という。）を使用し、さまざまな企業からの依頼試験を実施してきた。GC-MSを使用するためには、キャリアガスと呼ばれる試料を運ぶための不活性ガスを供給する必要があり、一般的にはヘリウムガスが使用されることが多い。当センターでもヘリウムガスをキャリアガスとして使用しているが、近年のヘリウムガス生産量減少等による世界的な供給不足の影響を受けている。今後ヘリウムガスの供給状況が改善しない場合、

機器運用に深刻な影響を与える恐れがある。

近年では水素ガスをキャリアガスとして使用する事を前提に設計された機器や、イオン化法を変更することで窒素ガスを使用しても感度低下を起こさない機器が販売されているが、機器の更新は容易に行うことはできない。そのため本研究では既存機器に配管を増設し分析条件等を変更することで、使用するキャリアガスの変更を検討した。安全性の観点から、代替えキャリアガスには窒素ガスを選定し、後述する標準試薬の定性分析結果を比較することで代替えガスとしての可能性を確認した。また、窒素ガス供給配管及び3方弁を設置したことにより、ヘリウムガスと窒素ガスを容易に切替え可能となったため、待機時にヘリ

ウムガス流量を削減できるよう運用方法の変更を検討した。

## 2 実験方法

### 2.1 試料

定性分析の対象として、カラムテスト用標準試薬（以下「標準試薬」という。）として販売されている、GCカラム標準試料, DB-5msキャピラリー/メガボア用（部品番号：200-0185）を使用した。標準試薬にはカラムの分離能特性、効率および不活性をテストする成分として、表1に示す8種の成分がそれぞれ0.25mg/mL含まれている。

表1 評価対象成分

No.	成分
1	2-エチルヘキサノール
2	1,6-ヘキサジオール
3	4-クロロフェノール
4	トリデカン
5	1-メチルナフタレン
6	1-ウンデカノール
7	テトラデカン
8	ジシクロヘキシルアミン

### 2.2 測定機器

ガスクロマトグラフ四重極型質量分析計である、アジレント・テクノロジー株式会社製6980 Plus GC 及び5973N MSD を使用した。カラムはDB-5MS( 30mm × 0.25mm, 0.25 $\mu$ m )を使用した。

### 2.3 測定条件

キャリアガス種ごとの測定条件を表2に示す。なお、ヘリウムガス使用時と同じ条件で窒素ガスを使用して定性分析を行ったところ、適切に分析結果を得ることができなかったため、測定条件を変更している。これは、キャリアガス種ごとに最適なカラム効率を得るための線速度が異なることや、窒素ガス使用時の感度低下が著しいことが原因と考えられる。

### 2.4 ヘリウムガス削減設定条件

GC-MSの待機時のキャリアガス使用量

は、セプタムパージ流量、カラム流量、スプリットベント流量の合計から算出される。GC-MSを1週間待機状態で運用した場合のヘリウムガス使用量を以下の条件で算出した。待機状態とは、分析操作を実施せず分析終了時の設定でGC-MSを保った状態をいう。削減設定時、平日はヘリウムガス流量を必要最低限の流量に変更し、休日は窒素ガスに切り替えることとした。

表2 測定条件

項目	ヘリウムガス	窒素ガス
注入方式	スプリット	スプリット
注入量	1 $\mu$ L	2 $\mu$ L
スプリット比	20:1	15:1
キャリアガス流量	1mL/min	0.5mL/min
カラム温度	125 $^{\circ}$ C (8.5min)-10 $^{\circ}$ C/min-260 $^{\circ}$ C (10min)	125 $^{\circ}$ C (8.5min)-10 $^{\circ}$ C/min-260 $^{\circ}$ C (10min)
イオン化法	EI法	EI法
イオン化電圧	70eV	70eV
イオン源温度	230 $^{\circ}$ C	230 $^{\circ}$ C
質量スキャン範囲	29~550	29~550

表3 ヘリウムガス削減設定時の流量  
(単位：mL/min)

項目	従来	削減設定	
		平日 ※1	休日 ※2
セプタムパージ流量	3	3	0(3)※3
カラム流量	1	0.5	0(0.5)※3
スプリットベント流量	20	15	0(15) ※3

※1 平日は月曜8:30~金曜17:00とした

※2 休日は金曜17:00~月曜8:30とした

※3 ()内の数値は窒素ガスの流量を示す

### 3 結果

#### 3.1 定性分析結果

図1及び図2にキャリアガス種ごとのトータルイオンクロマトグラム（以下「TIC」という。）を示す。また、定性可能であった成分のリテンションタイム（以下「RT」という。）、ライブラリー検索一致率（以下「一致率」という。）及びピーク面積値（以下「面積値」という。）を表4に示す。今回の定性分析では一致率80%以上の成分については定性できた成分と判断し、窒素ガスを用いた場合には8成分のうち5成分を定性することができた。定性できた成分の一致率は、キャリアガス種ごとに大きな差はなかった。なお、スペクトルの減算処理は実施していない。図3及び図4にキャリアガス種ごとのベースラインのマススペクトルを示す。マススペクトルを比較するとヘリウムの場合のスペクトルは検出される成分数が少ないのに対し、窒素の場合のマススペクトルは検出される成分数が多い。また  $m/z=42$  のスペクトル強度が高くなっていった。定性できなかった2-エチルヘキサン酸、1,6-ヘキサンジオールについては0.25mg/mLの濃度で得られるスペクトルの強度が低いため、ベースラインを超える強度を検出することができなかったと考えられる。また1-ウンデカノールについてはそれらしきピークを確認することはできたが、成分のマススペクトルとベースラインのマススペクトルが近い強度

で混在しており定性が不可能であったと考えられる。窒素ガスでの定性分析の場合、

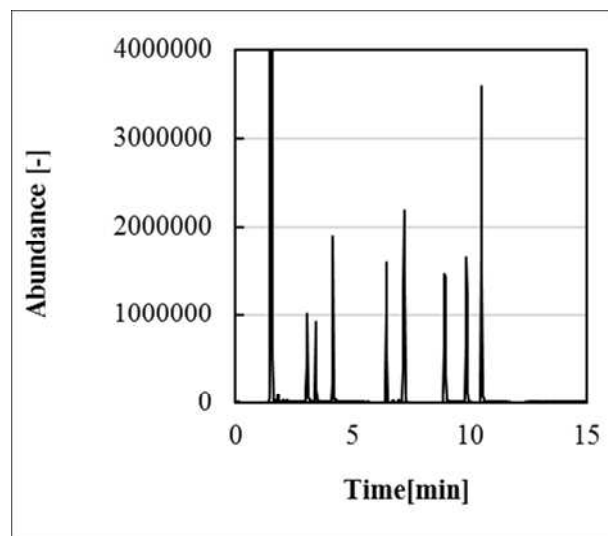


図1 ヘリウムガス使用時のTIC

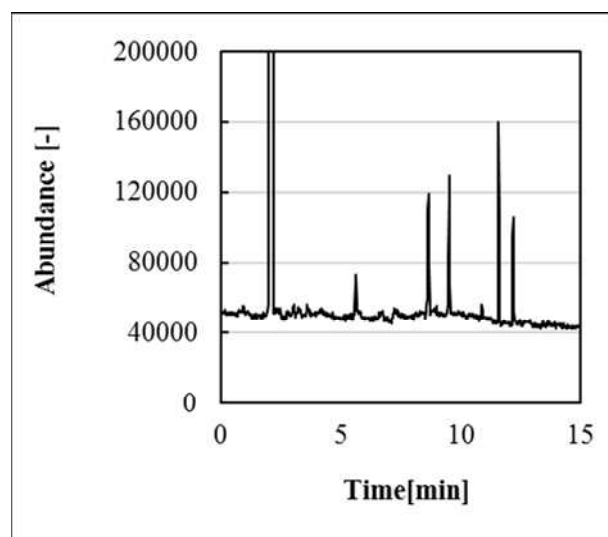


図2 窒素ガス使用時のTIC

表4 各成分のRT、一致率及び面積値（－：定性分析不可能）

No	物質名	ヘリウムガス			窒素ガス		
		RT [min]	一致率 [%]	面積値 [-]	RT [min]	一致率 [%]	面積値 [-]
1	2-エチルヘキサン酸	3.09	81	36,314,604	—	—	—
2	1,6-ヘキサンジオール	3.44	86	16,961,631	—	—	—
3	4-クロロフェノール	4.18	94	57,389,241	5.64	96	1,246,299
4	トリデカン	6.46	96	48,026,588	8.67	95	2,737,814
5	1-メチルナフタレン	7.22	91	77,030,491	9.53	87	2,763,026
6	1-ウンデカノール	8.96	91	55,260,147	—	—	—
7	テトラデカン	9.89	98	50,409,050	11.59	96	3,084,402
8	ジシクロヘキシルアミン	10.52	94	99,907,838	12.19	87	1,870,937

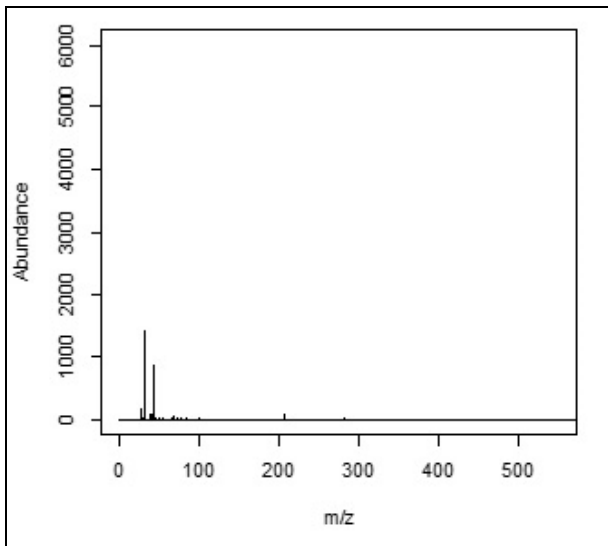


図3 ヘリウムガス使用時のベースラインマススペクトル(RT=1.201)

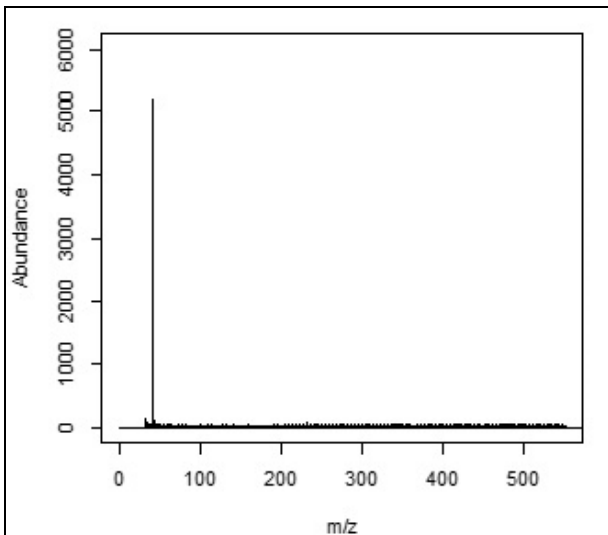


図4 窒素ガス使用時のベースラインマススペクトル(RT=1.519)

RTが平均1.26倍、ピーク面積値が平均0.04倍、ベースライン高さが約10倍になることが確認された。

### 3. 2 ヘリウムガス削減設定の効果

表2の測定条件に従い週間ガス使用量を算出したところ、平日待機時のガス流量を削減することで35L、休日待機時(63.5時間分)のヘリウムガスを窒素ガスに切り替えることにより91L、合計で126Lのヘリウムガスを削減することができることが分かった。週間ヘリウムガス使用量は従来の設定で242L、削減設定で116Lであることから、約52%のヘリウムガスを削減でき

ることが分かった。ヘリウムガスの使用量を図5に示す。なお、窒素ガスからヘリウムガスへキャリアガスを変更した場合には安定化に約8時間必要であった。

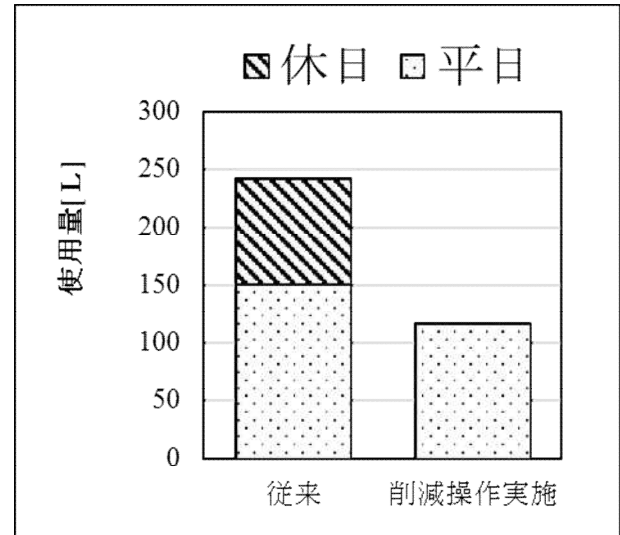


図5 ヘリウムガス使用量の比較  
待機状態における1週間分のガス使用量

## 4 まとめ

GC-MSのキャリアガスを窒素に変更し、標準試料の定性分析を実施したところ、8成分中5成分を定性することができた。また、リテンションタイムが平均1.26倍、ピーク面積値が平均0.04倍、ベースライン高さが約10倍になることが確認された。以上の結果から、窒素ガス使用時にヘリウムガス使用時と同様の定性分析結果を得ることは難しいが、今回の標準試薬よりも高い濃度の成分については、定性分析が可能であることが示唆された。

待機時のヘリウムガス流量を必要最低限の流量に変更し、休日は窒素ガスに切替えることとして1週間待機運転時のヘリウムガス使用量を算出したところ、約52%のヘリウムガスを削減できることが分かった。

## こんにゃくの食感に関する調査研究

山田徹郎・石田一成・吉野 功\*

Investigation research on food texture of konjac  
Tetsuro YAMADA, Kazushige ISHIDA, and Isao YOSHINO

こんにゃくの食感に影響を与える物理量について検討した。圧縮試験を行ったところ、こんにゃくの「硬さ」は、「破断強度」よりも荷重-歪み率曲線の「初期の傾き」の影響が大きかった。また、テクスチャー試験を行い2回圧縮したところ、「こんにゃく」の特徴は、1回目と2回目の強度の比がほぼ100%であった。精粉濃度が高いこんにゃくを試作した。その物性は、市販品に比べ、「初期の傾き」、「破断強度」がともに増大し、「硬い」食感であった。

キーワード：こんにゃく、食感、硬さ、クリープメーター

We examined physical quantities that affect the food texture of konjac. Hardness of konjac was more affected by the initial slope of the load-strain rate curve than by breaking strength. When compressed twice in the texture test, the properties of konjac were that the ratio of the intensity of the first time to the intensity of the second time was almost 100%. We prototyped sample with a high concentration of konjac powder. When the physical properties of the sample were evaluated, the initial inclination and the breaking strength both increased and the food texture was hard as compared with the commercial product.

KEY WORD: konjac, food texture, hardness, creep meter

### 1 はじめに

こんにゃくは、群馬県の伝統的食材である。こんにゃくは、高分子の立場から見ると「ゲル」であり、その性状を様々に変化させる可能性を有しているが、伝統的な製法以外では製造されておらず、その食感のバリエーションは極めて少ない。新商品開発を視野に入れ、硬さが異なるこんにゃく製品の食感と物性値について、クリープメーターを用い基礎データを収集し、食感に影響を与える物理量を検討した。

また、こんにゃくの食感を変化させるために、市販のこんにゃくよりも精粉濃度（こんにゃく全量に対する精粉の重量比）が高いこんにゃくを試作し、その物性を評価した。

### 2 実験

#### 2.1 「硬さ」を評価する物理量

硬さを評価する物理量として、ヤング率、強度などが考えられる。

材料工学分野で用いられるヤング率は、フックの法則が成立する弾性範囲において、固体の変形しやすさを評価する物理量である。ヤング率は、「応力/歪み」であり、応力-歪み曲線の傾きにあたる。一方、食品の物性評価では、プランジャーに歯を想定した「くさび形」を用いる場合、歪み率により接触面積が変化するので、応力（=荷重/断面積）ではなく、荷重で取り扱うことが多い。この場合、荷重-歪み率の曲線の傾きを「初期の傾き」といい、硬さを評価する物理量である。

また、強度には、最大強度、破断強度などがある。最大強度は、測定時での最大の

荷重であり、荷重—歪み率曲線での最大値である。また、破断強度は試料が変形し、破壊された時点での荷重であり、荷重—歪み率曲線では、第一極大点となる。

図1の鎖線の様に最大荷重と破断荷重が同じ場合もあるが、食品等の場合は、図1の実線の様に最大荷重と破断荷重と異なる場合が多い。今回の試験では、硬さを評価する物理量を検討するため、試料が破壊された時点での荷重として、破断荷重を測定した。

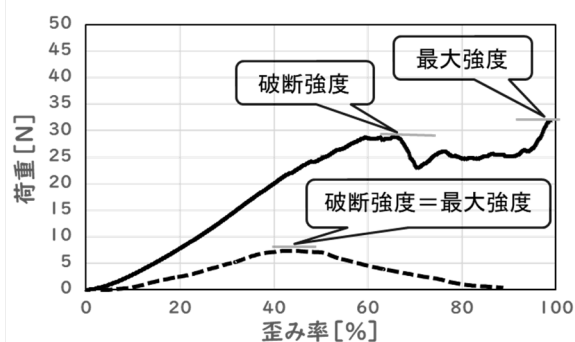


図1 荷重—歪み率の曲線の例

### 2. 1. 1 試料

硬さが異なる同じ会社で製造されているこんにやく製品((株)北毛久呂保製、4種類、写真1に示す)を試験に供した。



生芋こんにやく



さしみこんにやく



湯葉風こんにやく



こんにやくスイーツ

写真1 試料の写真

サンプル名と原材料名を表1に示す。原材料は重量の割合の高いものから記載し、

／以下は添加物である。必ず、こんにやく粉と凝固剤としての水酸化カルシウムが含まれている。こんにやく粉と表示されているが、こんにやくいもを輪切りにして乾燥後、粉碎しマンナン粒子を取り出したもので精粉と同じものである。

表1 試料の原材料

サンプル名	原材料名
生芋こんにやく	こんにやく芋、こんにやく粉／水酸化カルシウム
さしみこんにやく	こんにやく粉／水酸化カルシウム
湯葉風こんにやく	こんにやく粉、粉末油脂、辛子、調整豆乳粉末、青さ／水酸化カルシウム
こんにやくスイーツ	果糖ぶどう糖液糖、こんにやく粉、砂糖、澱粉／増粘剤加工澱粉、水酸化カルシウム

### 2. 1. 2 試験方法

クリープメーター ((株)山電製 RE2-33005C) を用い圧縮試験を行った。写真2にクリープメーターの外観を示す。測定条件は以下の通り。

- ・ロードセル：20N
- ・プランジャー：くさび形 (30° 先端1mm幅平面くさび、長さ30mm)
- ・測定速度：0.5mm/sec

また、官能検査として、試料を食し、硬さを評価した。



写真2 クリープメーター

### 2. 1. 3 結果

官能試験の結果はこんにやくの「硬さ」は、硬い順に、「生芋こんにやく」、「さしみこんにやく」、「湯葉風こんにやく」



く」、「こんにやくスイーツ」であった。  
 圧縮試験の結果から、破断荷重と「初期の傾き」の相関を図2に示す。

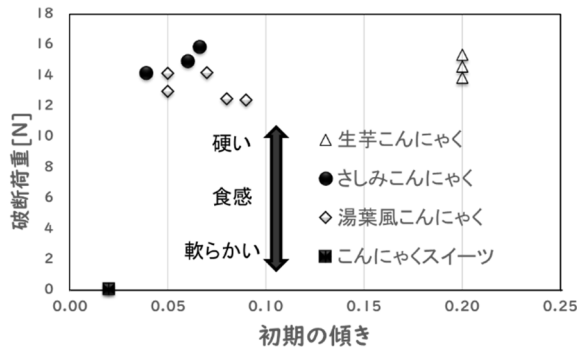


図2 試料の破断荷重と「初期の傾き」の相関

#### 2. 1. 4 考察

「硬さ」は、「初期の傾き」の影響が大きいことが示された。また、「さしみこんにやく」と「湯葉風こんにやく」を比較すると「さしみこんにやく」の方が若干硬い。このことから、「初期の傾き」の値が近い場合は、破断荷重の値が「硬さ」に影響することが推測される。

食感として、「初期の傾き」が、噛んだときの抵抗に対応し、破断荷重が、噛み切るときの抵抗に対応すると考えられ、「硬さ」が初めに影響を受けるのは、噛んだときの抵抗であり、同じ程度の抵抗の場合、噛み切るときの抵抗に影響されることができると考えることができる。

#### 2. 2 テクスチャー試験によるこんにやくの物性評価

食品の物性評価に使われるテクスチャー試験は圧縮を2回行う（図3参照）。

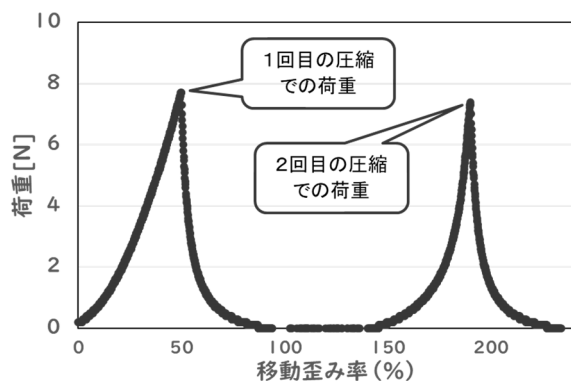


図3 テクスチャーによる圧縮曲線  
 一方、こんにやくは歯ごたえのある弾力

が特徴である。そのため、1回目の圧縮での荷重と2回目の圧縮での荷重との差が少ないと考えられるので、1回目と2回目の荷重の比について評価した。

#### 2. 2. 1 試料

2.1.1と同じ試料を供した。

#### 2. 2. 2 試験方法

クリープメーターを用いテクスチャー試験を行った。測定は、圧縮歪み率25%まで圧縮し、2回繰り返した。測定条件は以下の通り。

- ・ロードセル：20N
- ・プランジャー：円柱（直径16mm）
- ・圧縮速度：1mm/sec
- ・もどり距離：5mm

#### 2. 2. 3 結果

各試料について、1回目の荷重、2回目の荷重、それらの比（2回目／1回目）、及び試料厚さを表2に示す。

表2 各試料の測定値と試料厚さ

試料名	荷重 [N]		比 [%]	試料厚さ [mm]	
	1回目	2回目			
生芋こんにやく	1	3.20	3.20	100%	26.7
	2	9.00	8.90	99%	25.7
	3	7.70	7.40	96%	24.9
	4	2.30	2.20	96%	26.0
さしみこんにやく	1	1.80	1.77	98%	7.9
	2	1.58	1.56	99%	8.2
	3	1.40	1.37	98%	8.7
	4	2.36	2.29	97%	8.7
	5	1.32	1.29	98%	8.4
湯葉風こんにやく	1	0.47	0.46	98%	9.7
	2	0.28	0.27	96%	9.7
	3	1.59	1.54	97%	7.8
	4	1.45	1.43	99%	7.6
こんにやくスイーツ	1	0.40	0.39	98%	13.0
	2	0.27	0.27	100%	10.7
	3	0.45	0.43	96%	11.1

#### 2. 2. 4 考察

ほとんどの試料で荷重の比が100%に近い。また、これらの値は荷重の値や試料厚さによらないので、こんにやくの物性的な特徴の一つと考えることができる。

#### 2. 3 精粉濃度が高いこんにやく試作とその物性評価

精粉濃度が高いこんにゃくを作製することは困難で、6%程度が限界と言われている。その理由を工程ごとに述べると、①のりがき：精粉を水で溶く場合、少量ずつ投入しないと「だま」になり、時間を費やすと固まるため、高濃度は困難。②練り込み：高濃度になるほど、粘性が大きくなり、均等に混合することは困難。③凝固剤の投入：粘性のあるこんにゃくに凝固剤（液体）を混練する場合、高濃度になるほど、均一に混練できず、凝固剤に触れた表面だけが凝固してしまう。

そこで、攪拌能力に優れた攪拌機（株）シンキー製 あわとり練太郎ARM-310）を用いた。

### 2.3.1 試料

精粉濃度が3%（市販のこんにゃくと同等）、6%、8%のこんにゃくを試作した。精粉、水などの配合比を表3に示す。精粉濃度は、「精粉 / (精粉 + 加えた水 + 凝固剤に含まれる水)」として計算した。

表3 試料の配合比

試料名	精粉 [g]	水 [g]	凝固剤 [g]
3%	12.9	352	50.77
6%	9.0	104	36.54
8%	12.0	89	48.72

精粉と水を混合し、攪拌機を用い2000rpmで1分攪拌後、40分間放置した。次に混練機（（株）エフ・エム・アイ製 キッチンエイドKSM90WW）に移し替え、1.5%の水酸化カルシウムを入れながら混練した。

次に、ステンレス製のバット（68mm×105mm×59mm）に入れて、表面をならし、沸騰浴中に浸漬した。その後、保温鍋（サーモス（株）製 真空保温調理器シャトルシェフKSP6001）で、一昼夜、保温し、バットから取り出し、厚さ約20mmに切り出し、試料として供した。

### 2.3.2 試験方法

クリープメーターを用い圧縮試験を行った。測定条件は2.1.2と同様とした。

また、官能検査として、試料を食し、「硬さ」を評価した。

### 2.3.3 結果

精粉濃度が6%を超える8%の試料を試作することができた。

官能試験の結果は、硬い順に、「8%の試料」、「6%の試料」、「3%の試料」であった。

精粉濃度が異なるこんにゃくの荷重—歪み率曲線を図4に示す。「初期の傾き」と破断荷重を表4に示す。

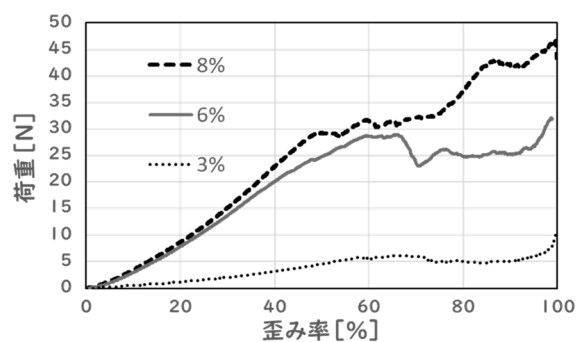


図4 精粉濃度が異なるこんにゃくの荷重—歪み率曲線

表4 精粉濃度が異なるこんにゃくの破断荷重

精粉濃度 [%]	破断荷重 [N]
3%	4.1
6%	28.9
8%	29.4

「8%の試料」と「6%の試料」では差が少ないものの、精粉濃度が高くなるほど、食感は「硬く」なり、「初期の傾き」、破断荷重ともに増加した。特に、精粉濃度8%場合は、精粉濃度3%（市販品）に比べ、破断荷重は約7倍となった。

### 2.3.4 考察

「8%の試料」が作製できた理由は、工程ごとに攪拌機と混練機を適切に使い分けたためであると考えられる。

のりがきの工程では、粘度のほとんどない液体と固体（粉）のを攪拌するが、混練機では、初期はうまく混ざらず、手で混ぜこんでいる。そのため、手で混ぜるよりも攪拌性の優れた攪拌機を使用した。

練り込み及び凝固剤の投入の工程では、粘度のある液体と液体を混練するが、攪拌機では、粘度のある液体ではあまり混練で

きず、混練機を使用した。

これらを使い分けることにより、高濃度の試作品の作製が可能となったと考えることができる。

試作したこんにゃくは、「初期の傾き」、破断強度がともに増加し、食感の「硬い」こんにゃくを製造できる可能性が示された。

また、こんにゃくを冷凍後、解凍することで、食感を硬くし、ステーキ風に調理することが書籍や情報番組等で紹介されている<sup>1)</sup>。これらはこんにゃくと区別し、「凍みこんにゃく」や「氷こんにゃく」と呼ばれている。

これらの目的は、ステーキの代用食として、カロリー摂取を抑えることである。

同じ目的で、精粉濃度が高いこんにゃくも低カロリー食材として商品化できる可能性は極めて高い。

### 3 まとめ

こんにゃくの「硬さ」は、「破断強度」よりも「初期の傾き」の影響が大きい。

また、テクスチャー試験を行ったところ、「こんにゃく」の物性的な特徴は、2回圧縮し、1回目と2回目の荷重の比がほぼ100%である。

精粉濃度が高いこんにゃくを試作し、その物性を評価したところ、市販品に比べ、「初期の傾き」、破断荷重ともに増大し、「硬い」食感であった。

特に、精粉濃度8%場合は、精粉濃度3%（市販品）に比べ、破断荷重が約7倍となった。

### 謝 辞

本研究の遂行にあたり、こんにゃくの作製について、（株）神戸万吉商店 神戸春巳会長よりご指導をたまわった。また、解析について、こんにゃくプロジェクト代表白石直氏よりご助言をいただいた。ここに記して、深く謝意を表する。

### 文 献

1) 金丸絵里加：氷こんにゃくで満腹ダイエットレシピ、学研パブリッシング(2015)

## 蛍光マイクロプレートリーダーを用いた 食品中アレルゲン定量分析の検討

吉野 功

Allergen quantitative analysis in the food by  
using a fluorescence micro plate reader.

Isao YOSHINO

食品中のアレルゲン分析について蛍光マイクロプレートリーダーを用いた定量分析を検討した。エライザ法による市販のキットについて、抗体プレートの保存性を検証したところ開封後に感度低下は見られるもののアレルゲン定量には支障がなかった。こんにゃくを用いたアレルゲンタンパク質の添加回収試験を行ったところ、卵タンパク質の回収率が低かったが、加工によるタンパク質変性の影響が大きく、こんにゃくによる吸着の影響は少ないと推察された。

キーワード：アレルゲン、エライザ法、こんにゃく

Quantitative analysis using a fluorescence micro plate reader was considered about an allergen analysis in the food. The storage stability of the antibody plate was verified using a commercially available ELISA kit. Sensitivity decreased after opening, but allergen quantification was not affected. An addition collection test of allergen protein using konjac was performed. Egg protein recovery was low, but the cause was protein denaturation due to processing. It was assumed that the effect of adsorption by konjac was small.

Keywords: Allergen, ELISA, konjac

### 1 はじめに

食品中のアレルゲンはヒトの免疫機能に過剰反応（アレルギー反応）を引き起こし、時には重篤な症状を発生させる。数  $\mu\text{g/g}$  程度の微量の混入でも症状を引き起こす可能性があるため、加工原料からの持ち込みや、製造器具からの混入も問題となっている。そこで、平成 13 年から食品衛生法により、アレルギー物質を含む食品の表示制度が導入され、特に卵、乳、小麦、そば、落花生、えび、かには特定原材料として表示が義務付けられている。

消費者庁の通知<sup>1)</sup>には食品から特定原材料を検知する方法について、スクリーニング検査としてエライザ法が記載されている。

バイオ・微生物係

エライザ法とは抗原抗体反応を利用して定量する手法で、高感度、高特異性、多検体測定等のメリットがある。具体的にはマイクロプレートに固定化した特定のタンパク質に反応する抗原に酵素を標識した抗体ではさみこみ、酵素基質を加えたときの発色強度を測定する（図 1）。

群馬産業技術センターでは、これまで県内企業から測定の要望があったが、アレルゲン検査については依頼試験対応していなかった。その理由は、エライザ法で用いられる分析キットの試薬代が約 8 万円と高いだけでなく、有効期間が 1 年間と短い点である。さらには一つのキットに対して、一つのアレルゲン物質しか対応できないという点も依頼試験項目化を難しくしている。

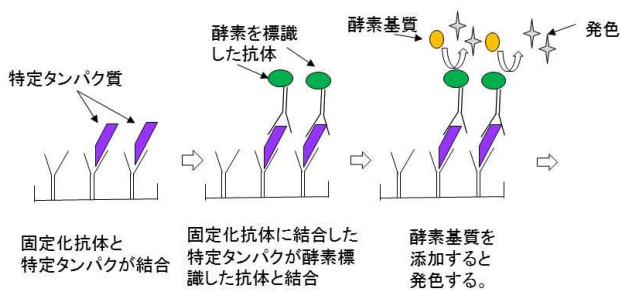


図 1 エライザ法の原理

しかしながら昨今の食の安全性への意識の高まりを鑑み、当センターでもアレルギー検査の依頼試験化は可能か調べることにした。まず、当センターが保有するマイクロプレートリーダーを用いてアレルギー検査可能か確認を行った。さらにコストダウンが可能か、開封保存後の抗体プレート利用による精度の検証を行った。また県特産物のこんにやくはアレルギーフリー食品開発素材としての利用が期待されるが、増粘性によるアレルギー回収率の低下の可能性について検証した報告事例はない。そこで分析の妥当性を検討するため併せて試験したので報告する。

## 2 実験方法

### 2.1 供試試薬と装置

エライザ法のアレルギー分析キットは FASPEK ELISA II 小麦、卵（(株)森永生科学研究所）を用いた。検量線作成用の標準タンパク質はキット付属のものを用いた。固相化プレートは、パック開封直後と、パック開封 1 ヶ月後のものを用いた。

他分析機関で定量値を検証された標準物質として、QC マテリアル小麦（(株)森永生科学研究所）（微量の小麦に酒粕粉末を混ぜたもの）を用いた。

発光強度の測定は、蛍光マイクロプレートリーダー パワースキャン HT（DS ファーマバイオメディカル）（写真 1）を用い、450nm から 620nm の吸光度の差（Delta）を定量計算に用いた。

### 2.2 アレルギーモデル食品の調製



写真 1 蛍光マイクロプレートリーダー

### 食品のミキサーによる均質化

### 特定タンパク質の抽出

抽出試料液、標準液の希釈

### 抗体固相化プレートに試験液を分注

### 酵素標識抗体の分注

### 酵素基質溶液の分注

20分遮光反応

### 反応停止液の分注

### 吸光度の測定

図 2 アレルギー分析プロトコル

こんにやく精粉（小林新次郎商店）25g に、アレルギー（小麦胚芽 200mg もしくは乾燥全卵 100mg：特定タンパク質）を懸濁させた蒸留水 800mL を加え、練り 1 時間放置後、100mL に 1g の水酸化カルシウム（関東化学試薬 1 級）を懸濁させた液を加えてさらに練りレトルト袋に詰め、沸騰水で 30 分加熱し、アレルギータンパク質添加モデルこんにやく（概ね特定タンパク質として 10 $\mu$ g/g 含有）とした。

### 2.3 分析方法

分析プロトコルを図 2 に示す。アレルギー

ン添加モデルこんにやくについてはミルミキサーで均質化処理を行った。アレルゲン分析試料1gに分析キットの検体抽出液19mLを加え、振とう機で一晩抽出した。抽出後のpHはこんにやくでも中性付近だったため、pH調整は行わなかった。3000rpm、20分の遠心分離の上清をキットの検体希釈液で20倍希釈し、測定溶液とした。検量線用の標準溶液は50,25,12.5,6.25,3.13,1.56,0.78,0ng/mLとなるよう特定タンパク質溶液を適宜希釈した。抗体固相化プレートに100μL分注し、1時間室温で静置反応後、溶液を除去洗浄した。酵素標識抗体溶液100μLを分注し、30分静置反応後、溶液を除去洗浄した。酵素基質溶液を100μL分注し、20分遮光下で静置反応後、反応停止液を100μL分注し、蛍光マイクロプレートリーダーで450nm、620nmの吸光度を測定しDeltaを計算した。測定は2連で行った。

### 3 結果と考察

#### 3.1 標準の相関と精度

小麦アレルゲン標準液による検量線を図3に示す。0.31μg/g~20μg/g（試料溶液として0.78ng/mL~50ng/mL）の範囲において、高い相関係数（ $R^2=1$ ）（4-パラメーター $Y=(A \cdot D)/(1+(X/C)^B)+D$ による）が得られた。保存袋開封直後と開封1ヶ月後の抗体プレートの発光強度を比較したところ、最大で85%の感度低下が見られたが、相関や、2連のばらつきについては問題が無かった。検証用標準物質による同一試料の定量値測定のばらつき幅は10%以内に抑えられており、開封後しばらくの使用は問題ないと考えられた。

#### 3.2 アレルゲン添加回収試験

モデル食品として、こんにやくの練り水に微量のタンパク質を混入させて作成したこんにやくからの回収試験をタンパク質源として小麦胚芽粉末および乾燥全卵を用いて行った（図4）。無添加のこんにやくからは、アレルゲンは検出されず偽陽性反応も見られなかった。小麦ではタンパク質添加原料水に対して84%の回収率だったが、卵では45%の回収率であった。低い回収

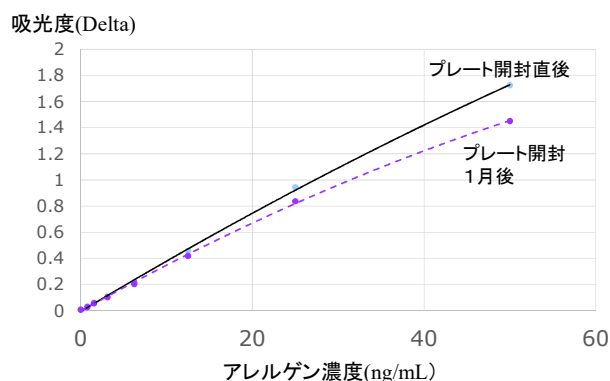


図3 小麦タンパク質の標準曲線

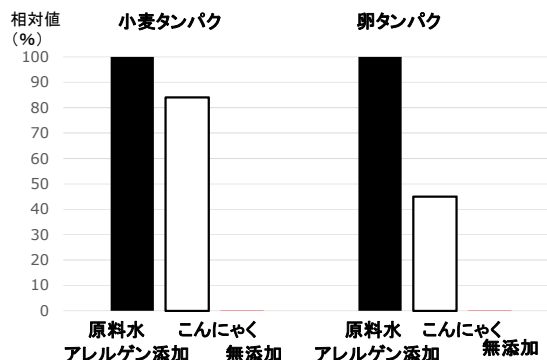


図4 アレルゲン添加回収試験

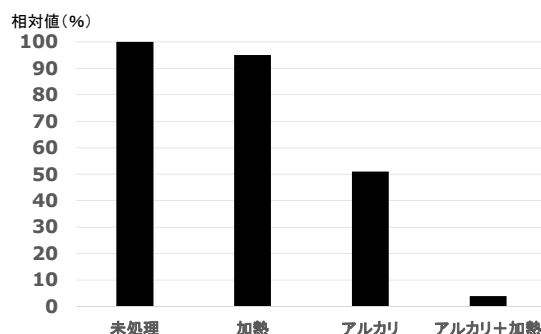


図5 加工による卵タンパク質回収率の変化

率の原因を検証するため、卵タンパク質液にこんにやく製造と同様の条件で、加熱およびアルカリ処理しアレルゲン定量分析を行った（図5）。加熱では回収率が95%までの低下にとどまったのに対しアルカリ処理では51%に低下し、アルカリ処理後の加熱によってさらに低下が促進されていた。このため、モデルこんにやく中の回収率の低下は、増粘性による抽出の妨害ではなくタンパク質変性が由来とも考えられた。

### 4 まとめ

アレルゲン定量キット（エライザ法）の

特定タンパク質標準液による検量線について、小麦の測定を行ったところ、高い相関が得られた。開封1ヶ月後の抗体プレートでは感度の低下が見られたものの、定量性には問題がなかった。小麦、卵を添加したこんにゃくを作成し、アレルゲンの回収試験を行ったところ、小麦タンパク質に比べ、卵タンパク質の回収率が低かった。アルカリ、熱による卵の回収率の変化を調べたところ、アルカリによるタンパク質回収率の低下が大きく、加工によるタンパク質変性が、回収率に大きく影響していると考えられた。

#### 文 献

- 1) 消費者庁通知：消食表第286号  
(2010)

# 味覚センサーを用いた日本酒の酒質評価系の構築

柳澤昌臣・渡部貴志・石田一成\*

Construction of quality evaluation system for sake using taste sensing system

Masaomi YANAGISAWA, Takashi WATANABE, Kazushige ISHIDA

味覚センサーを日本酒の簡便な酒質評価ツールとして活用し、その結果を日本酒に馴染みのない消費者に対する PR 資料として利用することを検討した。成分分析や官能評価の結果との相関を確認し、酒質を反映した結果を示していることがわかったため報告する。

キーワード：味覚センサー、市販酒、成分分析、官能評価

We considered using the taste sensing system as a simple quality evaluation tool for sake, and using the results as item description for consumers unfamiliar with sake. We performed a taste sensor, component analysis and sensory evaluation, and examined their correlation. As a result, we report that the taste sensing system is effective for evaluating the quality of sake.

Keywords : taste sensing system, Japanese sake, component analysis, sensory evaluation

## 1 まえがき

日本酒の需要は、日本国内にとどまらず、海外でも広がっている。財務省の貿易統計によると日本酒の輸出金額は、平成 30 年度において 222 億円に達しており、この 10 年で約 3 倍に増加している。また、訪日外国人数も堅調に推移しており、和食人気の高まりと合わせて日本酒需要を拡大する機会となっている。

一方、国内の消費量は減少傾向にあり、特に若者の日本酒離れが起こっている。その理由の一つに酒質説明のわかりにくさがある。特定名称酒など、専門用語による酒質の説明では、初めて日本酒を飲む人にとって味の違いがわかりにくく、購入をためらう要因となっている。

つまり、国内外を問わず、日本酒（国外においては日本語も）の知識のない消費者が見ても、どのような酒質か分かりやすく、自分の好みに合った日本酒を購入するきっかけとなる PR 資料が求められている。

味認識装置（味覚センサー）は、ポリ塩化ビニルと可塑剤に脂質を混合した膜を用いることで、呈味物質と膜の間で生じる化学的相互作用

による膜電位の変化を味として数値化する装置である<sup>1), 2)</sup>。膜の組成を変えることで味ごとに特異的に応答するセンサーが開発されている。また、個々の物質に応答する従来の化学センサーとは異なり、味覚センサーは似た呈味を示す物質に対して似たパターンを示す「広域選択性」を特徴とする。つまり、生体の舌を模した構造となっており、人の感覚に近い評価を行うことが出来る。そのため、様々な食品の新商品開発や営業活動に利用されている。

味覚センサーを利用することで上述した日本酒の PR 資料をつくることができると考えられる。一方、日本酒への味覚センサーの活用はこれまで報告があるものの<sup>2), 3)</sup>、官能評価や成分分析値との相関に関する報告は少ない。そこで、本研究では群馬県内の市販酒を中心に味覚センサーの分析を行い、その有効性を検証したので報告する。

## 2 実験材料と方法

### 2.1 供試試料

群馬県内酒造会社の日本酒（県内酒）24 点と県外で醸造された日本酒（県外酒）33 点、計 57 点を収集し、官能評価および成分分析に供した。



なお、試料は、市販酒として販売されている普通酒を中心に収集したが、普通酒の収集が困難な酒造会社の場合には、その他の特定名称酒を使用した。そのため、普通酒（32点）、本醸造酒（21点）、特別本醸造酒（1点）、純米酒（2点）、純米吟醸酒（1点）を使用した。

## 2. 2 味覚センサーによる分析

試料は、原液のまま使用し、室温 24℃の環境下で分析に供した。味覚センサーは、味認識装置 TS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー製）を用いた。センサーは、酸味・塩味・苦味・渋味・旨味・甘味の6種類を用いて分析した。

## 2. 3 成分分析

酸度、アミノ酸度、着色度は、国税庁所定分析法に従った。ただし、着色度はOD<sub>430</sub>を求め、その測定値×1,000で表示した。アルコール分は、アルコメイト AL-3（理研計器製）を用いて分析した。日本酒度は、酒類用振動式密度計 DA-155（京都電子工業製）を用いて分析した。アミノ酸は、試料をクエン酸緩衝液で適宜希釈し、孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過した後、島津 LC-VP アミノ酸分析システムを用いて、OPA(o-phthalaldehyde)ポストカラム誘導体化-蛍光検出により分析した。有機酸は、試料を孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過後、高速液体クロマトグラフ（日本分光製）を用いて、BTB-ポストカラム HPLC 法により分析した。香気成分は、ガスクロマトグラフ GC-14A（島津製作所製）、およびヘッドスペースサンプラー HS40XL（パーキンエルマー製）を用いて、ヘッドスペースガスクロマトグラフ法により分析した。糖類は、試料を蒸留水で適宜希釈し、孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過後、高速液体クロマトグラフ（日本分光製）を用いて分析した。無機元素の分析には、1% HCl で適宜希釈した試料を用いた。ナトリウムとカリウムは原子吸光分光光度計 AA-6300（島津製作所製）を用いて分析した。カルシウム、マグネシウム、鉄、マンガンは、ICP-OES Optima 8300（パーキンエルマー製）を用いて分析した。

番号 1					
色沢濃淡	薄い -2	やや薄い -1	普通 0	やや濃い +1	濃い +2
色沢等の指摘	異常着色	混濁	その他( )		
香り高低	低い -2	やや低い -1	普通 0	やや高い +1	高い +2
香りの種類	酢酸 イソamil	カロン酸 エチル	酢酸 エチル	イソamil アルコール	
香りの指摘	アセト アルデヒド	イソamil アルデヒド	香辛料様 4VG		
	麴臭	甘臭 カワイル臭	焦臭		
	老香	生老香	酵母様 粕臭	硫化物様	
	ゴム臭	カビ臭	土臭	紙臭 ほこり臭	
ジアセチル	脂肪酸臭	酸臭			
香りその他	( )				
味濃淡	薄い -2	やや薄い -1	普通 0	やや濃い +1	濃い +2
味甘辛	辛い -2	やや辛い -1	普通 0	やや甘い +1	甘い +2
味熟度	若い -2	やや若い -1	普通 0	やや老ね +1	老ね +2
味の特徴	甘味 まろい	酸味 ふくらみ・ 幅	旨味 ソフト	コク 淡麗・ きれい	なめらか キレ良
味の指摘	甘味過多 おもい		酸味過多 だれる	渋味過多	苦味過多 あらい
味その他	( )				
総合評価	優良 1	良 2	普通 3	やや難 4	難点 5

図1 官能評価の審査用紙

## 2. 4 官能評価

当センターにて第 86 回市販酒研究会を実施し、官能評価を行った。官能評価は、関東信越国税局鑑定官、県内酒造技術者、および当センター職員 12 名によりプロファイル方式の審査用紙を用いて行った（図 1）。網掛けの項目は必須とし、その他の特徴と指摘事項は、感じた場合にチェックした。品温は概ね 20℃に調整した。

## 3 結果と考察

### 3. 1 市販酒の味覚センサー分析

試料 57 点を味覚センサーで測定した結果を図 2 および表 1 に示した。苦味・渋味・旨味については、センサーを試料に浸して 1 度目の測定を行った後に、専用の水溶液（基準液）を用いて軽く洗浄する。この洗浄は、人の「嚥下」にあたる操作であり、新しい基準液中で 2 度目の測定を行うことにより先味（苦味雑味・渋味刺激・旨味）

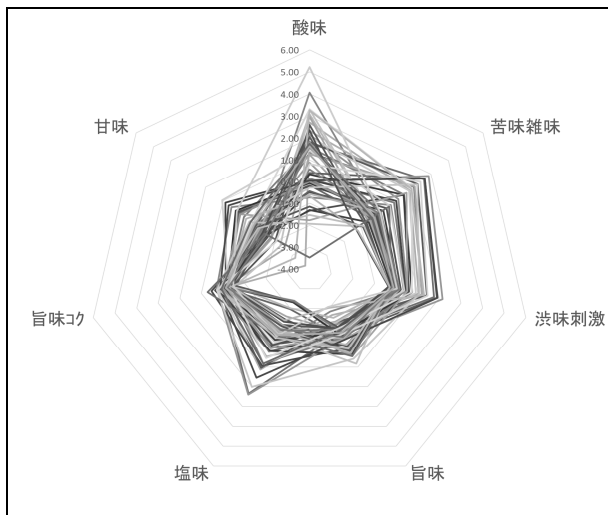


図2 味覚センサーの分析結果

と後味（苦味・渋味・旨味コク）の分析値を得ることができる。そのため、6種類のセンサーを用いることで9つの味覚項目を評価した。また、味覚センサーの測定には味の基準となる試料を1点設ける必要がある。そのため、酒造年度毎の酒質の変化が少なく、普通酒として平均的な味を呈すると思われる大手酒造会社の試料（基準酒）を選定した。

試料間の識別が有意であったことを確認する方法として、誤差率（m2 値）の使用が推奨されている。m2 値が 50 以下であれば識別が有意であることの見安とされているが、苦味と渋味では、m2 値が 50 を超えることがあった。さらに、苦味では味の有無の基準となる数値（無味点）よりも低い数値を示す試料もあった（データ省略）。このことから、苦味および渋味の項目は、市販酒の評価に使用しないこととした。一方、その他の7項目では、試料間の分析値の差に有意な差が見られた。特に酸味では、最大値と最小値間の差が 8.70 と最も大きかった。味覚センサーの単位は、人が識別できる強度比をもとに設定されている<sup>4)</sup>。つまり、測定値の差が 1.00 以上であれば味覚として識別できることを表している。このことより、味覚センサーによって市販酒の味を識別できることが示された。

57 点の平均値は、酸味が 0.90、甘味が -0.98 と基準値（0.00）よりも外れた値であり（表 1）、基準酒の酸味の低さ、および甘味の高さが示された。この結果は、成分分析および官能評価の結果とも対応しており（データ省略）、

表 1 味覚センサーの分析値

味覚項目	最大値	最小値	平均値
酸味	5.22	-3.48	0.90
苦味雑味	2.86	-1.25	0.55
渋味刺激	2.15	-0.36	0.37
旨味	0.84	-2.08	-0.59
塩味	2.39	-2.40	-0.39
苦味	0.25	-0.45	0.04
渋味	0.42	-0.34	0.06
旨味コク	0.72	-0.59	-0.11
甘味	1.04	-3.76	-0.98

基準酒の選定について検討する必要がある。また、日本酒は、醸造時の気候条件や原料米の状態に影響を受けるため、常に同じ酒質のものを製造することが困難であることも基準酒選定の懸念事項である。豊田らは、基準として市販酒を使用する他に、人工的に合成したモデル清酒を使用している<sup>2)</sup>。しかし、このモデル清酒の分析値も今回の平均値からかなり外れた値となった（データ省略）。そのため、組成の検討が必要となるが、今回の平均値に近いモデル清酒を調製することができれば常に一定の評価基準を持った評価系の構築が可能になると考えられる。

### 3. 2 味覚センサー分析値との相関

味覚センサーの分析値と成分分析値および官能評価項目との相関係数を求め、それぞれの味覚項目との相関係数の絶対値が高い3項目について表 2 に示した。酸味は、官能評価の酸味と酸度過多（相関係数：0.462）、酸度（0.502）と正の相関が見られた。旨味および旨味コクは、グルタミン酸などのアミノ酸や分析した 17 種類のアミノ酸の総量（アミノ酸総量）と正の相関が見られた。また、甘味はグルコースや官能評価の味の甘辛と正の相関が見られた。これらの成分分析および官能評価項目は、相関の見られた味覚センサーの分析項目から連想されるため、味覚センサーの結果が酒質を反映していることを示している。

にがりの主成分（塩化マグネシウム）を構成するマグネシウム、およびカルシウムはどちらも苦味を呈する物質であり、今回の結果と対応してい

た<sup>5)</sup>。また、渋味刺激にもマグネシウムおよびカルシウムと正の相関が見られた（苦味雑味と渋味刺激の間には強い正の相関（0.959）が確認された）。渋味刺激と苦味雑味の測定に使用するセンサーは、どちらも塩化物イオンなどの陰イオンに応答する。このことから、無機塩に由来する塩化物イオンの影響を受けていると考えられる。また、アミノ酸濃度も苦味雑味・渋味刺激と正の相関が見られた。

苦味雑味は、官能評価の総合評価と正の相関があった。総合評価は5点法で行われ、数字が大きいほど欠点のある酒であることを示している。そのため、苦味雑味の分析値から酒質の良し悪しを判定することができるのかもしれない。

今回の官能評価は、市販酒としての出来を審査するものであったが、出品酒に対する官能評価の結果とも同様の相関が得られれば、出品酒対策などにも活用が期待できる。

塩味のセンサーも陰イオンに応答するため、マグネシウムやカルシウム、アミノ酸と正の相関が見られた。また、コハク酸や乳酸などの有機酸とも正の相関があった。原材料中に塩化ナトリウムが含まれない日本酒では、塩味の項目は「しょっぱさ」を表すのではなく、有機酸などによる「味の濃厚さ」を示す指標であることが推察されている<sup>2)</sup>。今回の結果は、それと一致するものであった。

### 3.3 市販酒の特徴

味覚センサーによって、市販酒の酒質が識別できることがわかったため、分析値をもとに酒質を反映したグループ分けを試みた。グループ分けは、苦味・渋味を除く7項目の分析値を1.00以上、-1.00以下、それ以外の3区分にそ

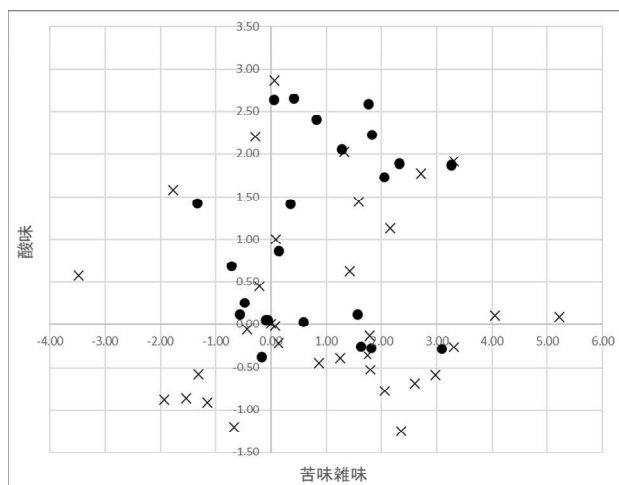


図3 市販酒 57 点のマッピング

●：群馬県内酒、×：県外酒

れぞれ分け、7項目のパターンが同一のものを1つのグループとした。その結果、57点の試料は31のグループに分けられた。また、1つの試料しか含まれないグループが18存在した。理論上では、この分け方によるグループは $3^7=2187$ 存在する。旨味コクの分析値は試料間の差が少なかったことを考慮しても（表1）、グループの増加は容易に想像できる。味覚センサーの分析値、特に味覚項目間のバランスをもとに酒質を把握する評価系を構築するためには、より多くの市販酒の分析・データの蓄積が必要であることが改めて明らかとなった。

県内酒全体の特徴を確認したところ、様々な酒質を呈することがわかった（図3）。嗜好の多様化が進んでいるため、消費者が求める様々な味の日本酒を提供できることは強みとなる。そこで、消費者への情報発信ツールとして味覚センサーの使用が期待できる。

表2 味覚センサーと成分分析値・官能評価項目との相関

味覚項目	成分分析値・官能評価項目		
酸味	<u>酸味 (0.597)</u>	Glu (-0.577)	Thr (-0.553)
苦味雑味	Mg (0.623)	Ca (0.522)	<u>総合評価 (0.503)</u>
渋味刺激	Mg (0.651)	Ca (0.533)	<u>総合評価 (0.462)</u>
旨味	K (0.602)	Glu (0.577)	アミノ酸度 (0.543)
塩味	アミノ酸度 (0.609)	コハク酸 (0.587)	Gly (0.570)
旨味コク	Glu (0.745)	Ile (0.724)	アミノ酸総量 (0.716)
甘味	グルコース (0.509)	着色度 (-0.486)	<u>味の甘辛 (0.474)</u>

官能評価項目は下線を引いて表示した。相関係数は各項目の右隣に括弧を付けて表示した。

## 4 まとめ

本研究では、味覚センサーが市販酒を評価するツールとして有効であることを検証した。

57 点の市販酒を分析し、味の識別が可能であることを確認した。市販酒の評価系に味覚センサーの利用が有効であることが示されたが、より詳細に酒質を把握するためには、今後も継続してデータを蓄積する必要がある。

## 謝 辞

市販酒の収集にあたり、群馬県酒造協同組合にご協力いただいた。

官能評価を行うにあたり、関東信越国税局松丸前鑑定官室長、群馬県内酒造技術者の皆様には、審査員としてご協力いただいた。

## 文 献

- 1) 都甲潔：味覚センサーによるおいしさの評価、化学と生物、46(12)、865(2008)
- 2) 豊田健太郎ほか：味覚センサーを用いた清酒の後味評価、日本醸造協会誌、111(1)、49(2016)
- 3) 大渡康夫ほか：味覚センサーによる清酒の評価とその活用方法の検証、島根県産業技術センター研究報告、54、27(2018)
- 4) 池崎秀和：映像情報メディア学会誌、65(11)、1575(2011)
- 5) 遠藤由香ほか：にがり成分が食塩の呈味性に及ぼす影響、日本海水学会誌、69(2)、105(2015)

# ものづくりにおける生産性向上に関する研究（第2報）

## — CMMによる検査プロセスの自動化 —

鏑木哲志・中村哲也・狩野幹大・小谷雄二\*

Study on productivity improvement in manufacturing

— Automation of inspection process by CMM —

Tetsushi KABURAGI, Tetsuya NAKAMURA, Motohiro KANO, Yuji KOTANI

ものづくりにおける生産性向上を図るため、三次元測定機（CMM）による検査プロセスの自動化を試みた。CMMでの測定により得られる座標情報を基にCAD上での作業で製品の寸法評価を効率化する手法を開発した。実際の検査に適用したところ、製品の寸法の検査時間を大幅に短縮する効果を確認した。

キーワード：三次元測定機、生産性向上、自動化、CAD

To improve productivity in manufacturing, an automation of the inspection process with a coordinate measuring machine (CMM) was investigated. We developed a method to get the size evaluation of products from coordinate information by CMM. It was found that this method significantly reduces the time required to evaluate the size of products.

Keywords : CMM, productivity improvement, Automation, CAD

### 1 まえがき

我が国では、少子高齢化に伴う労働人口減少が深刻な問題であり、労働生産性の向上が重要な社会的課題である。ものづくりの分野では、これまで我が国の高い技術力を支えた熟練技能者の高齢化が進み、その優れた技能の後世への伝承が十分に行われておらず、我が国の優位性が失われつつある中、その対策が急務となっている。

我が国が目指す社会のあり方である Society 5.0 では、人口知能、ロボット及びIoTなど、生産性を劇的に向上させるイノベーションの実現が必要とされる<sup>1)</sup>。この実現にはIT化が必要不可欠であるが、中小製造業における多くの生産現場では、直接業務以前に間接業務においてもIT化が進んでいないのが現状である<sup>2)</sup>。

このような背景の中、我々は生産プロセスへのIT活用に向けた取組に注力している。

具体的には、手作業を主体とする作業の機械化や熟練作業者の勘と経験のセンサによる数値化等のIT手法を実際の生産プロセスに適用し、改善を図る取組である。この取組において、実際の現場でのIT化への動機付けには、身近な具体的事例での成功体験が最も有効となる。

本研究は、身近な検査装置であるCMMの検査の自動化による生産性向上を目的とする。第1報<sup>3)</sup>では、検査対象製品の2-D CADデータからCMMの測定プログラム作成に必要な座標情報を抽出させ、その情報に従いCMMを動作させる仕組みの開発とその効果について述べた。本報では、CMMでの測定により得られる座標情報を基にCAD上での作業で製品の寸法評価を効率化する仕組みの開発について述べる。本開発手法では、CMMから出力された座標情報をCADにて読み込み、幾何要素の計算に用いる座標値を選択して計算を行い、その結果から寸法を評価しテキストデータとして出力する。これにより、検査作業の大幅な生産性向上を可能とし得る結果について報告する。



## 2 CMMによる検査の自動化

### 2.1 自動化の基本構想

検査に使用する CMM はミットヨ製 Crysta Apex C121910 である。制御ソフトウェアは MCOSMOS Ver. 3.2 である。CMM はワークに接触子を接触（プロービング）させた際の座標を読み取り、寸法や形状等の評価を行う。

CMM の測定作業の自動化の基本構想を図 1 に示す。図は製品 2 次元 CAD の平面図であり、左側面の 2 点 E1 及び E2 をそれぞれのアプローチ点 S1 及び S2 から測定を想定する。アプローチ点  $S_i$  及び終了点  $E_i$  として、それぞれの座標値を CAD により抽出し、CMM で変数として扱える形式にテキストデータ化する。CMM ではこのテキストデータを読み込み、アプローチ点及び終了点が認識される。この一連の作業を CAD にて行う。

CMM での測定により得られる座標情報を基に CAD 上での作業で製品の寸法評価を行う基本構想を図 2 に示す。一般的な CMM による寸法評価では、線や円等の幾何要素計算は CMM の動作ソフトウェア内の機能にて行われる（CMM プロセス）。この作業では、作

業者が全ての幾何要素に対して手作業での指示を行うことが必須となる。測定結果の出力についても同様である。図 1 の仕組みにて座標値を自動で取得しても、この幾何要素計算に係る手作業の削減は不可となる。そこで、手作業での幾何要素計算の作業を簡便にするため、CAD 上のクリック作業で上記と同様の作業を行う仕組みを開発する（CAD プロセス）。CAD にて座標情報を読み込み、幾何要素の計算に用いる座標値を選択してそれを行い、その結果から寸法を評価しテキストデータとして出力する。このテキストデータは、最終的な報告書に扱い易い形式とすることにより、一連の検査作業の効率化が可能となり生産性が向上する。

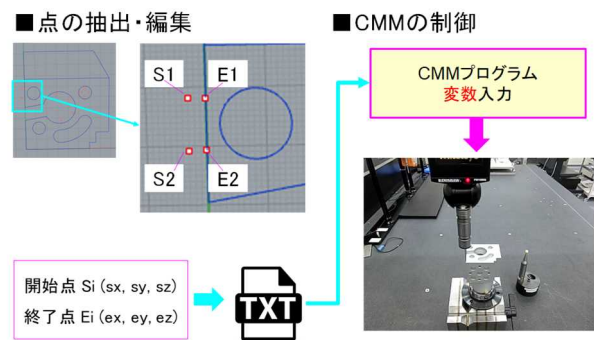


図 1 CMM の自動化の基本構想

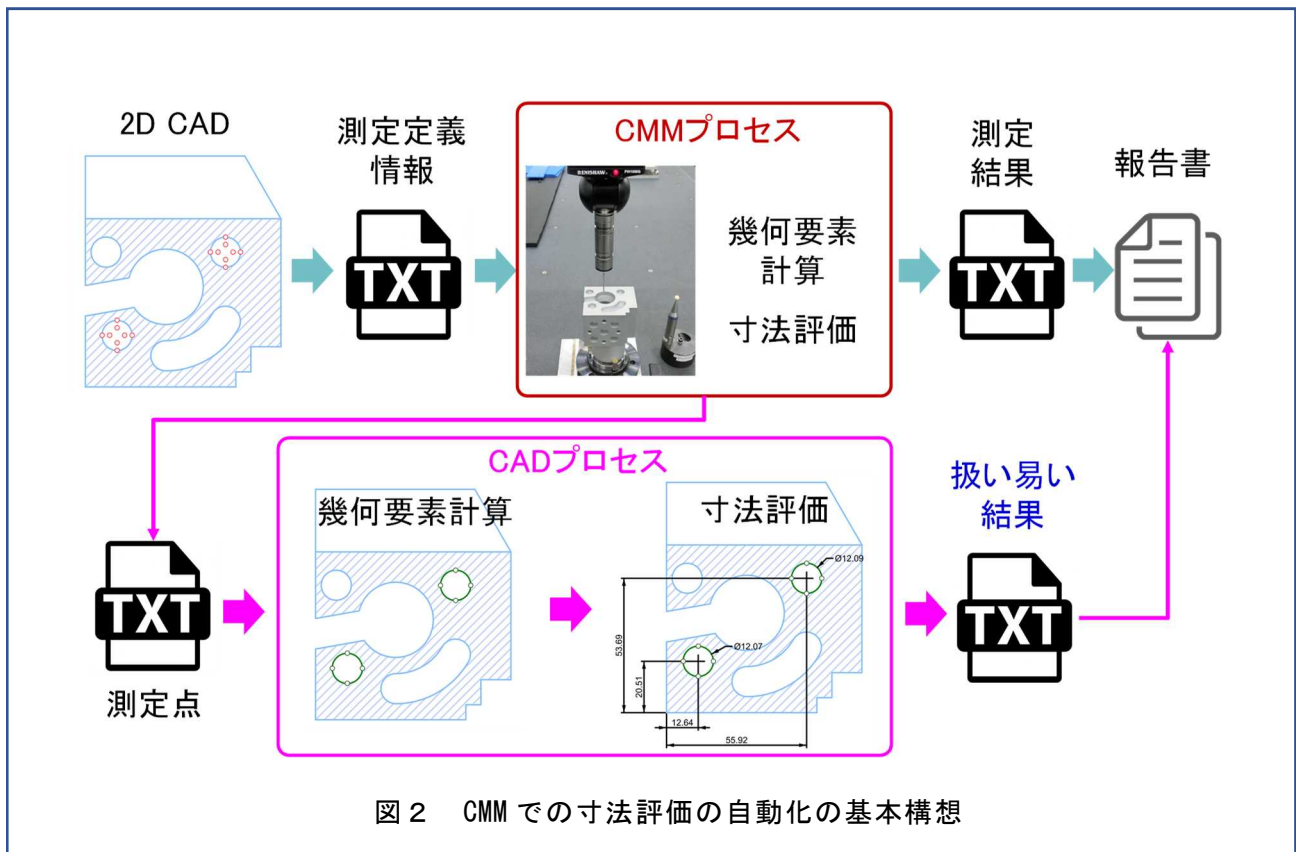


図 2 CMM での寸法評価の自動化の基本構想

## 2. 2 CAD ソフトウェア

2次元 CAD データからの座標抽出に用いる CAD ソフトウェアはアプリクラフト製 Rhinoceros 5 である。本ソフトウェアを使用する理由は、点の抽出等の機能（コマンド）をユーザで独自に開発できるためである。本ソフトウェアには開発ツールが提供されており C++や Python 等のプログラム言語でコマンドを作成できることが特徴である。

## 3 CAD プロセス

### 3. 1 CAD プロセスの処理手順

CAD プロセスの処理手順を図 3 に示す。処理は、測定点、幾何要素計算、寸法評価及び出力の順に行われる。各処理の内容は次のとおりである。

#### (1)測定点

CAD にて評価を行うための座標情報（測定点）を準備する。測定により得られた座標情報を CMM からテキストデータで出力させる。形式は CAD が対応可能な形式である CSV やタブ区切り等の一般的なものとする。

#### (2)幾何要素計算

線や円等の幾何要素の計算を行う。評価対象の円（図中緑の円 2箇所）それぞれについて、その構成点をクリックにて選択する。構成点数は任意で設定可能である。選択した点について最小二乗円が自動で計算される。線についても同様である。

#### (3)寸法評価

計算された幾何要素に基づき寸法を評価する。CAD の標準機能により幾何要素の選択はクリックで行うことができる。要素間の距離や円の直径等に必要な幾何要素を選択することにより、寸法が自動で計算される。

#### (4)出力

寸法評価結果をテキストデータで出力する。小数点以下の桁数は任意に設定可能である。出力順は現状選択順であるが、これも任意に設定可能である。

### 3. 2 CAD プロセスの優位性

本手順のコマンド作成には Python を用いた。その理由は、機能のライブラリが豊富に準備されていること、構文がわかりやすいこと及び言語としての信頼性が高いことである<sup>4)</sup>。各処理にて任意に設定を行うことができることにより、最終的な報告書作成にて扱い易い評価結果を得ることが可能となる。

従来の CMM プロセスでは、幾何要素の測定を測定手順で定義し、得られる結果は設定した評価結果のみである。測定点情報等の幾何要素計算に用いる生データは特別な処理を行わない限り作業者は目にすることはない。測定で何らかの異常点が発生した場合、それは評価結果に反映されるが、どの測定点がそれに相当するかの判断は不可能であり、その合理的な対策を講じることは困難である。本 CAD プロセスでは、寸法評価をあたかも 2次元図面を書くかのように行うことができることから、視覚的に測定での異常を容易に識別することが可能となる。異

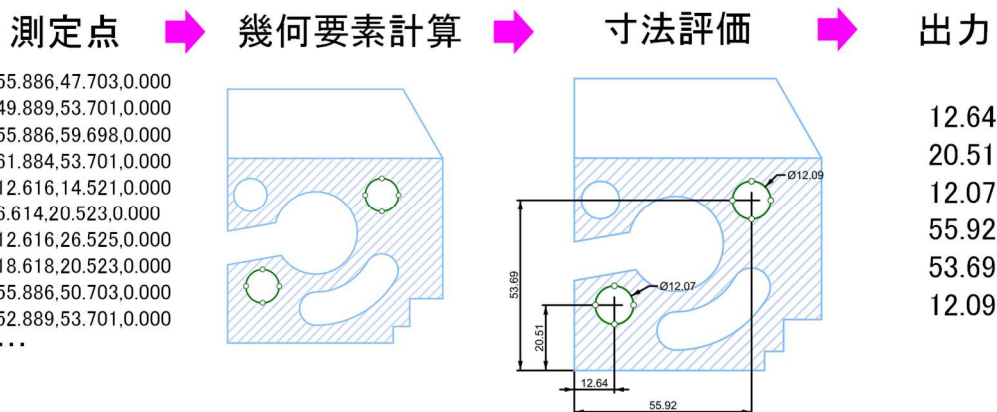


図 3 CAD プロセスの処理手順

常の原因への対策や評価での異常点の排除等を行うことにより、作業の効率化を図りそれに要する時間の短縮を図ることができる。

この寸法評価に係る作業について、従来の CMM プロセスでは CMM のソフトウェアで行わざるを得ないため、その間は CMM が停止することが生産性低下の要因であった。CAD プロセスでは、寸法評価を CMM とは別の PC で行うことから、CMM を停止させることなく検査を行うことが可能となり、生産性向上を図る手段となり得る。

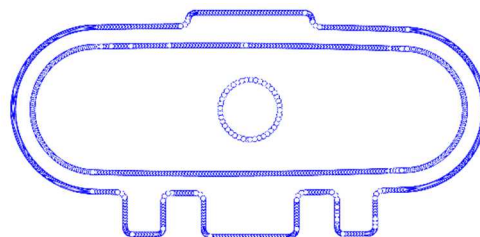
#### 4 CAD プロセスの効果

開発した CAD プロセスの効果を確認するため、実際の製品の寸法評価に適用した。対象製品は丸い角を持つ長方形断面の筒形状のものである。外周に微細な凹凸形状があり、角部の R が厳密に指示される。本製品は CMM での測定では難易度の高いものであり寸法評価に長時間を要す。CMM での測定により断面の座標情報(測定点)を取得し、CAD プロセスにて寸法評価を実施した結果の例を図 4 に示す。

3 章で述べたとおり、2 次元図面を書くかのように寸法評価を行うことができるため、微細で複雑な凹凸形状を視覚的に確認しながら幾何要素の当てはめが可能となり、従来の CMM プロセスと比較して作業性が格段に向上する。作業に要する時間は、従来手法と比較して 30%以上短縮し得る成果を得た。

本手法は、属人的な作業を CAD (IT) で置換する。本手法の利点は前述のとおり視覚的にわかりやすいことであり、CMM 及び CAD の未経験者でも取扱いが容易である。そのため、未経験者の即戦力化が可能となり、人手不足の問題に対して効果的なツールとなる。このように生産プロセスに IT を活用することは、これまでにない人の活躍の場の拡大が期待され、今後のものづくりに必要不可欠となると考える。

#### 測定点



#### 寸法評価

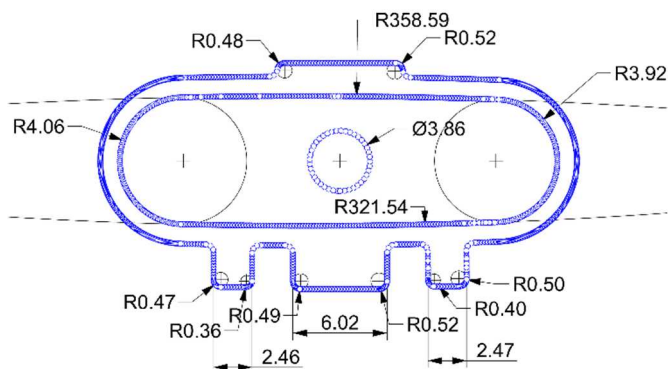


図 4 CAD プロセスによる寸法評価

#### 5 まとめ

ものづくりにおける生産性向上を図るため、CMM による検査プロセスの属人的作業を CAD により置換する手法を開発した。本開発手法は CMM 及び CAD の未経験者でも検査にて生産性向上を図ることを可能とした。

本手法はプログラムの知見があれば開発可能なものであり、広く普及することでものづくり全体の生産性向上が期待できる。

#### 文 献

- 1) 第 5 期科学技術基本計画、内閣府(2019)
- 2) 中小企業・小規模事業者の IT 利用の状況及び課題について (平成 29 年 3 月), 中小企業庁(2018)
- 3) 鏑木哲志ほか: 平成 30 年度群馬県立産業技術センター研究報告, ものづくりにおける生産性向上に関する研究(2018)
- 4) 三井和男, Rhinoceros×Python コンピューショナル・デザイン入門, 彰国社(2016)



# 環境温度が三次元測定精度に及ぼす影響に関する研究

狩野幹大・中村哲也・鏑木哲志・増田直也\*・川原潤也\*

Study on the effect of environmental temperature on three-dimensional measurement accuracy

Motohiro KANO, Tetsuya NAKAMURA, Tetsushi KABURAGI, Naoya Masuda, Junya KAWAHARA

ものづくり技術の高度化に伴い、精密測定についても高精度な測定結果が求められるようになっていくが、高精度な測定になるほど温度変化による熱膨張の影響を受けやすくなることから、適切な温度管理のもと測定を行う必要がある。本研究では三次元測定機の信頼性向上を図るため、測定室および測定機の温度変化の傾向を調査し、測定結果に及ぼす影響について検証を行った。

キーワード：三次元測定機、測定精度、測定環境

With the advancement of manufacturing technology, high-precision measurement results are also required for precision measurement. However, the more accurate the measurement, the more susceptible to thermal expansion due to temperature changes. Measurement must be performed under management. In this study, in order to improve the reliability of the CMM, the tendency of temperature changes in the measuring room and the measuring machine was investigated, and the effect on the measurement results was verified.

Keywords : coordinate measuring machine, measurement accuracy, Measurement environment

## 1 はじめに

当センターでは、依頼試験や共同研究等で各種測定機を使用した測定結果を企業に提供している。その中で、寸法や形状の評価については主に三次元測定機(以下、CMM)を利用して測定を行っているが、精密加工技術の進歩により企業から要求される測定精度が年々厳しくなっており、1 $\mu$ m 単位の精度保証が必要とされる相談が増加している。そのため、企業からの要望に対応するために測定結果の信頼性を確保し向上させることが重要な課題となっている。

長さの測定に影響を及ぼす代表的な因子としては、測定環境や装置の温度変化による熱膨張が挙げられる。高精度な測定結果を得るためには CMM や測定ワークの温度管理が不可欠であり、この温度変化による測定結果への影響を最小限にするため、当センターの測定室は恒温室になっている。H30 年度には測定室の改

修工事を行い、空調設備の更新と照明の LED 化を行ったところであるが、この測定室内においても様々な要因から時間経過とともに 0.1  $^{\circ}$ C 単位での温度の変動が生じており、1 $\mu$ m 単位の高精度な測定が要求される場合には影響を考慮する必要がある。

そこで本研究では温度管理された計測室内における測定精度の信頼性向上のため、時間経過による装置や測定室の温度変化が、CMM の測定結果に及ぼす影響について検証を行った。

## 2 実施方法

### 2.1 測定機

本研究で測定に利用する CMM はミットヨ製 Crysta-Apex C121910(以下、Crysta)及びミットヨ製 LEGEX776(以下、LEGEX)の 2 台である。表 1 に装置の主な仕様を、図 1 に装置本体とプロービングシステムの外観を示す。Crysta は比較的大きな測定範囲をもち、

LEGEX は高精度な測定が可能であるという特徴をもつ。

これらの CMM は室温が(20±1) °Cとなるよう空調の制御を行っている恒温室に設置されている。

## 2. 2 実験方法

本研究では 2 台の CMM (Crysta、LEGEX) について、時間経過に伴う座標値の変化を評価するため、図 2 に示すようなセラミック製のマスターボールを CMM の測定テーブル上に設置し、中心座標の測定を行う。校正に使用される基準器であるマスターボールを測定対象にすることで測定物側に起因する測定への影響を最小限に抑えることができ、CMM の特性を検証することが可能となる。

マスターボールの測定点はスタイラスシャフトの方向によって決まる極の 1 点及び赤道

上の等間隔の 4 点の計 5 点とした。

マスターボールを CMM 上に設置した様子と、XY 平面上の位置を図 3 に示す。本研究では 6 つのマスターボールを設置し、装置正面に向かって左手前のマスターボールを基準 (MB1) として、時計回りに番号を割り振り、各マスターボールの中心座標を順番に測定し評価を行う。

測定のスケジュールは朝 9 時頃に CMM を立ち上げてから翌日の夕方までの約 2 日間とし、15 分間隔での測定を実施した。

また、照明の影響について検証を行うため、室内の照明を完全に消灯した状態で Crysta による測定を行った。

表 1 CMMの主な仕様

項目	仕様	
	Crysta-Apex C121910	LEGEX776
測定範囲 [mm]	1205×1905×1005	700×700×600
最小表示量 [mm]	0.0001	0.00001
指示誤差 [μm] (L: 測定長 mm)	$MPE_E = 2.3 + 3L / 1000$	$E_{0,MPE} = 0.28 + L / 1000$
使用プローブ	PH10MQ SP25M(+ SM25-1) (スタイラス:φ4×50mm)	MPP-310Q (スタイラス:φ4×18mm)



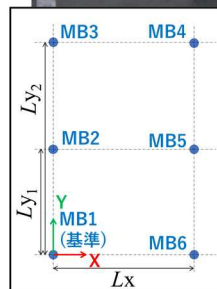
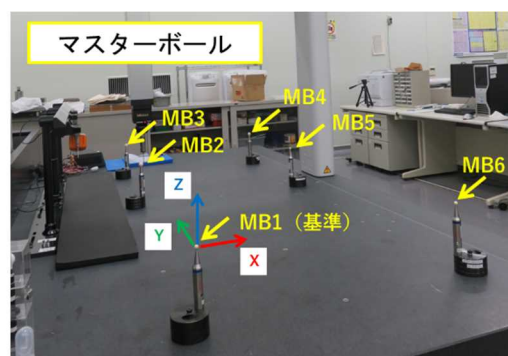
(a) Crysta-Apex C121910



(b) LEGEX776



図 2 マスターボール



		[mm]	
		Crysta	LEGEX
$L_x$		800	700
$L_{y1}$		1200	350
$L_{y2}$		1900	700

図 1 CMMとプロービングシステムの外観

図 3 マスターボールの配置

## 2. 3 温度変化の測定

LED 照明の点灯が室温に及ぼす影響を検討するため、調光機能を利用して光量や点灯数を変化させた際の室内の温度変化を測定した。今回、検証を行った照明の点灯条件は表 2 のとおりである。

温度計としてフルーク製 1529 を使用し、PC 上で温度データのログを記録した。

表 2 LED照明の点灯条件

光量	点灯数
100%	全照明
	1/2
20%	全照明
消灯	—

## 3 実験結果

### 3. 1 測定結果

マスターボールの中心座標の X 軸の測定結果について図 4 に示す。図 4(a)及び(b)は CMM と同時に照明を点灯した際の結果である。室温の上昇とともに、マスターボールの中心座標値が初期位置から徐々に変化していることが確認できる。特に立ち上げ直後の変動が大きく、昼過ぎから夕方にかけて徐々に安定する傾向がみられる。日中と夜間では最大で 1℃ 近い温度差が確認できた。一方、図 4(c)は測定室内の照明を全て消灯して Crysta で測定を行った結果である。2 日間を通じて室温の変動が 0.1℃ 程度であり、座標値の変化が小さ

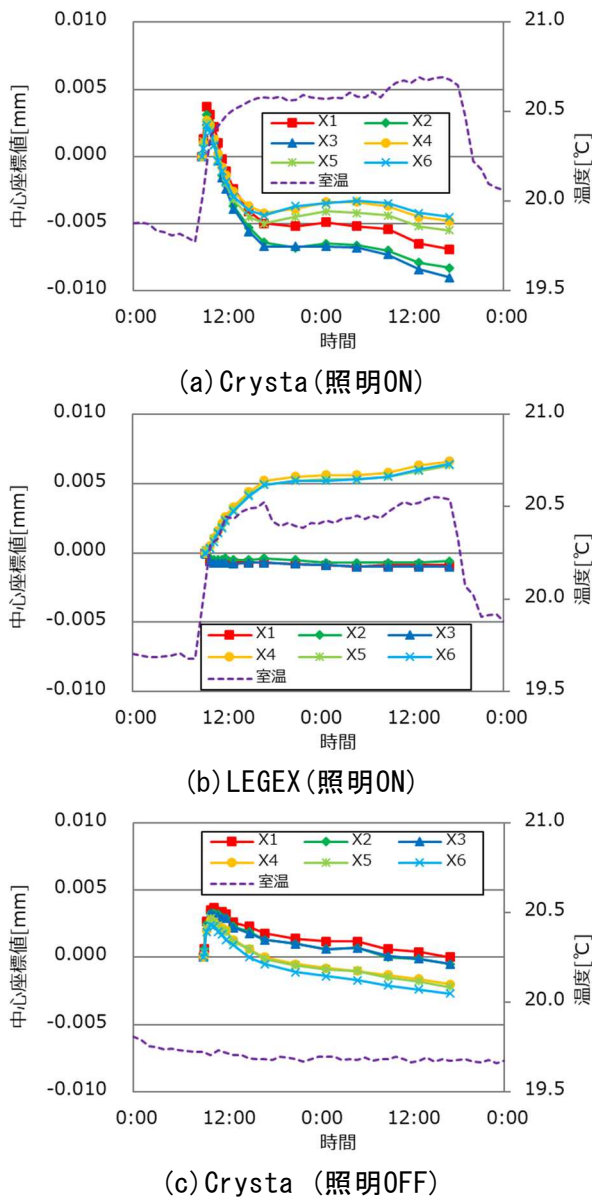


図 4 中心座標の変化(X軸)

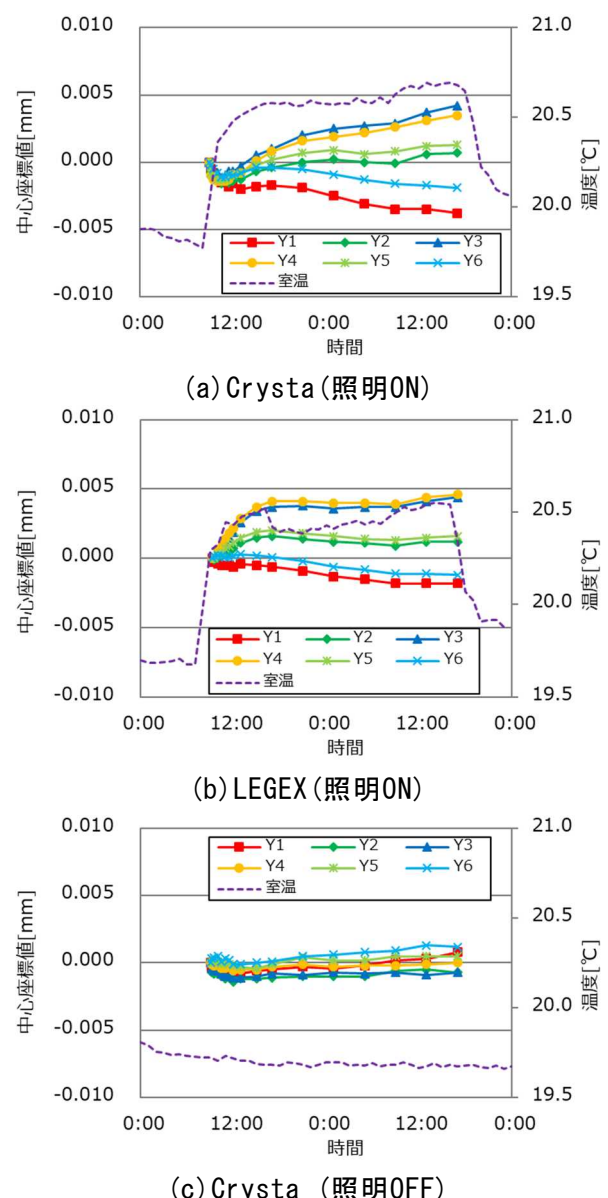


図 5 中心座標の変化(Y軸)

く安定するまでの時間も短くなっていることが確認できる。

さらに、Y軸、Z軸及び各軸の温度変化をまとめたものをそれぞれ図5、図6、図7に示す。軸ごとに中心座標の変化量や方向の傾向は異なるものの、全体的にCrystaよりもLEGEXの変化が小さくなっており、また消灯時にも座標変化が小さくなっていることが確認できる。

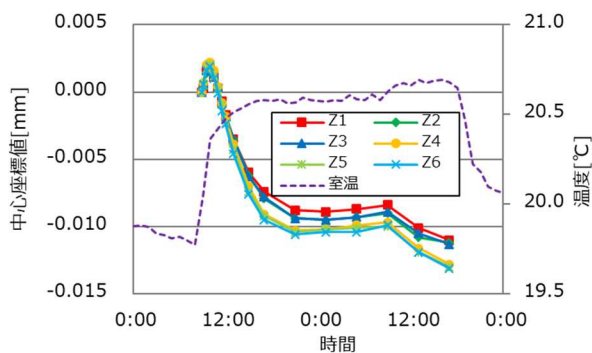
また、図7(c)のグラフを確認すると、照明を消灯した場合には室温だけでなくCMMの各軸についても温度上昇が抑えられており、CMM本体の温度も安定した状態になっていることわかる。

これらの結果から、室温の変動がマスターボールの中心座標の変化に強く影響を及ぼして

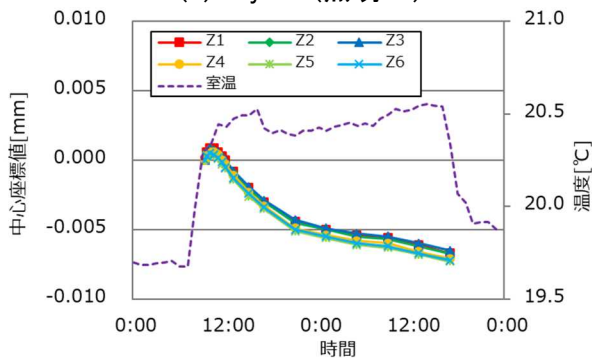
いる可能性が高く、温度変化によるCMM本体や測定テーブルの膨張が座標系に影響しているものと推察される。また、照明の点灯が測定室内の温度に大きな影響を与えていることもわかる。

さらに、マスターボールの中心座標について1時間あたりの最大変位量を表したグラフを図8に示す。

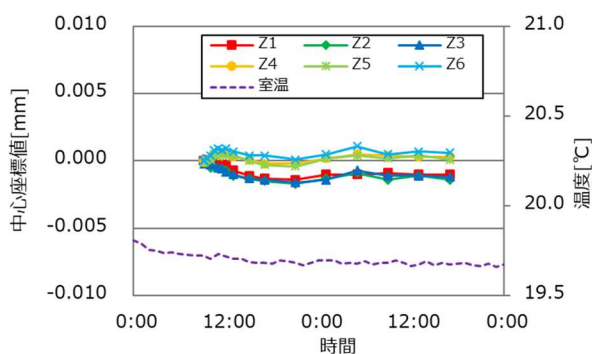
朝に装置を立ち上げた場合、Crystaでは図8(a)のようにマスターボールの座標値が $1\mu\text{m}$ の範囲で安定するのはその日の夕方頃になる。一方、LEGEXでは図8(b)のように安定までの時間が短く、さらに安定後は1時間あたりの変位が $0.2\mu\text{m}$ 以下となっており、安定性が高い測定が可能であるという結果が得られた。



(a) Crysta (照明ON)

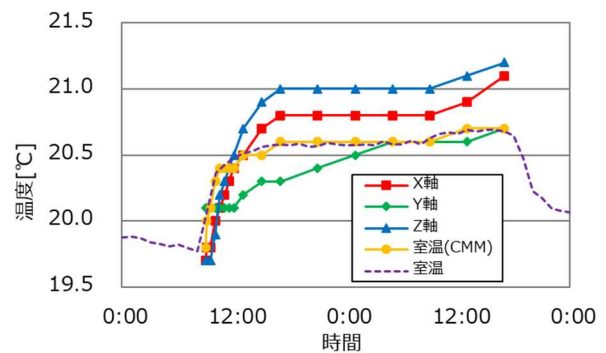


(b) LEGEX (照明ON)

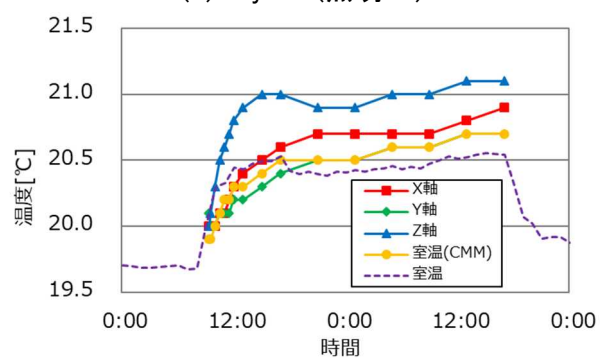


(c) Crysta (照明OFF)

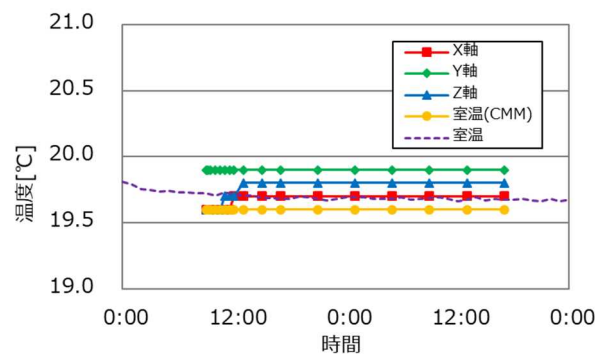
図6 中心座標の変化(Z軸)



(a) Crysta (照明ON)



(b) LEGEX (照明ON)



(c) Crysta (照明OFF)

図7 各軸の温度変化



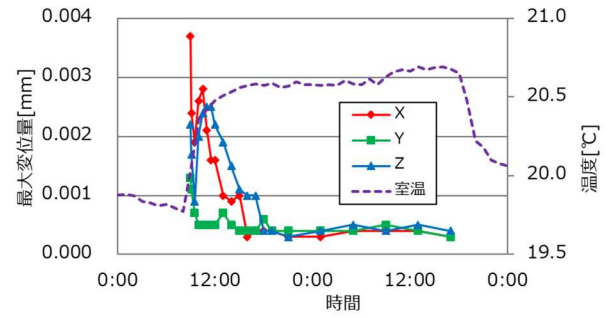
また、照明を消灯した場合は図 8 (c)のように Crysta でも起動から 1 時間ほどで 1 $\mu$ m ほどの変位量で安定している。このことから、照明の点灯による温度変化が CMM の座標系に大きな影響を及ぼしているということが推察される。

### 3. 2 計測室内の温度変化

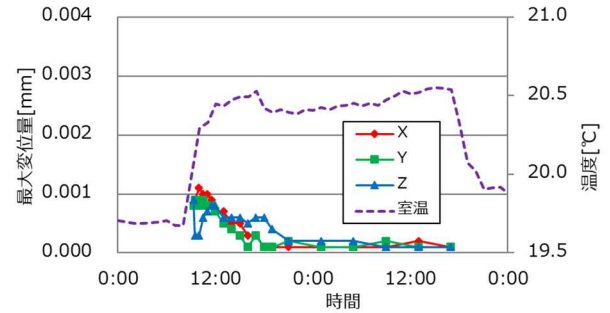
測定室の LED 照明の光量や点灯数を変更した際の、室温の変化を測定した結果を図 9 に示す。

図 9(a)は朝から夕方まで照明を点灯した場合の温度推移であるが、測定室の照明を入れた直後から温度上昇が始まり、夕方の消灯後にすぐに室温が低下し始めることが確認できる。各条件を比較すると LED 照明を調光して光量を弱めたり、照明の数を減らすことが、室温の上昇を抑えるのに有効であることが分かる。また、照明を完全に消灯した場合には 1 日を通じて温度はほぼ一定となった。

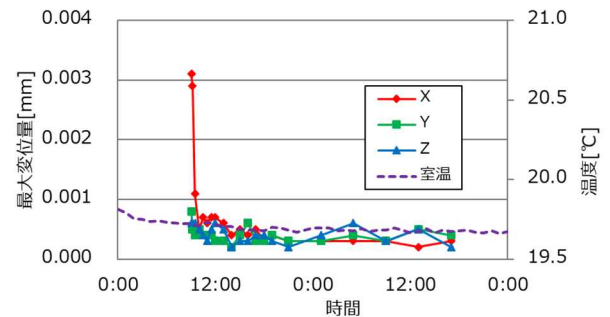
また、前日から照明を点灯した場合についても測定を行ったところ、図 9(b)のように日中と夜間の温度差を抑えることができた。高精度な測定を行う際には、あらかじめ照明を点灯しておき、可能な限り測定時の温度変化を小さくすることが有効であると考えられる。



(a) Crysta (照明ON)

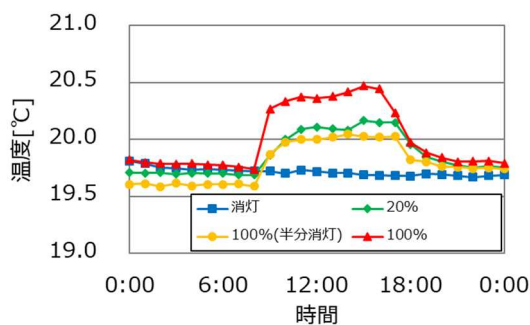


(b) LEGEX (照明ON)

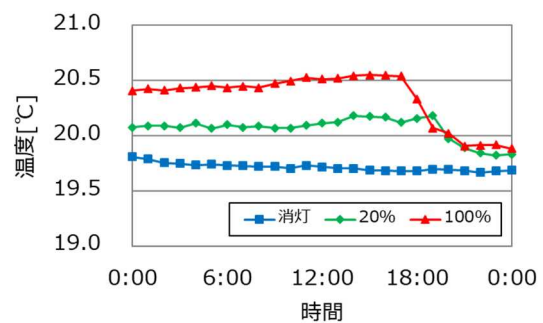


(c) Crysta (照明OFF)

図 8 1時間あたりの中心座標の最大変位



(a) 朝から点灯 (夕方消灯)



(b) 前日から点灯 (夕方消灯)

図 9 照明が室温に及ぼす影響

## 4 まとめ

温度コントロールを行っている測定室内において、CMMのドリフトが測定に及ぼす影響について検討を行ったところ、次の知見を得た。

- (1)  $(20 \pm 1)$  °Cの環境下に設置したCMMであっても、わずかな温度変化や時間経過によって $\mu\text{m}$ 単位で座標位置が変化する。
- (2) CMMの起動直後と室温変化時は座標値が変化しやすい。精度が求められる測定を行う場合には、前日からCMMと照明の電源を入れ、測定機や室内の温度を安定した状態にしておくことで、温度変化によるドリフトの影響を低減することができると考えられる。
- (3) 当センターの測定室における温度変化にはLED照明が大きな要因となっている。照明の光量や点灯数を調整することで計測室やCMMの温度上昇を抑制できることが確認された。

---

---

群馬県立産業技術センター研究報告  
平成31年度(2019)  
令和2年12月印刷

発行 群馬県立群馬産業技術センター  
〒379-2147 前橋市亀里町884番地1  
電話(027)290-3030(代)  
FAX(027)290-3040

---

---