

乾めんの乾燥過程における 水分分布変化の可視化

はたけなか製麺株式会社

<会社概要>



沿革

明治23年7月 初代佐藤善六 手延べ温麺製造を創業
昭和 5年 法人組織に変更 畑ヶ中製麺合資会社設立
平成 7年 会社組織変更 はたけなか製麺(株)設立

資本金

5,000万円

従業員数

44名

(令和4年3月現在)

売上金額

58,000万円 (令和4年度決算)

主な製品

白石温麺、ぜいたく茶そば、無塩ゼロ温麺、旨さ覚悟うどん 他

企業理念

「信用第一」「知恵を絞る」を社是として常に「本物の麺造り」を目指し、美味しさと健康による明るい社会への一端を担うこと



会社データ

■設立：1890年（明治23年）

■従業員数：41名

■支店：東京営業所





明治四十三年撮影

明治二十三年、初代佐藤善六が手延べ温麺を製造する
小さな工場を建ててから、大正時代には手延べから機
械製造へと移り変わっていきました。



目指すもの

お客様に心から美味しいと
思っただけの高品質な
麺造りを目指し、食を通じ
て健康や安心・安全に配慮
した商品開発にチャレンジ
しております。



jfsm
JFS-B
JFS-B20000637

一般財団法人食品安全マネジメント協会
JFS-B適合証明取得工場

2020年1月には日本で初めての
HACCPを含む食品安全規格
である『JFS-B』規格を東北
の乾麺・手延麺製造メーカーで
初めて取得しました。



つくっているもの

白石温麺を中心とした乾麺
(そうめん・うどん・そば)
食品スーパーやお土産物
御贈答品として利用



課題の背景：乾めんができるまで



課題の背景：乾めんができるまで



課題の背景：乾めんができるまで



乾めんは切り出された麺を乾燥室で**半日以上**乾燥して製造します。

単に風を当てて乾燥しているのではなく、風量、温度、湿度の調節など多くのノウハウがあります。

課題の目的：乾めん製造の最適化に向けて

- 生麺を乾燥して乾めんを製造する工程は、半日以上 of 工程と言う**時間的なコスト**と、その間乾燥室で温風を当てると言う**エネルギー的なコスト**がかかります。
- 温風温度、温風湿度、風量などの調節は職人の長年の経験に頼っています。
- 乾めんの**製造条件が最適化**できれば、**乾燥時間の短縮と消費エネルギーの削減**につながります。
- 乾燥過程で、まれに麺が縦に割れたり、非常に折れやすい麺になることがあります。このような状態になると規格不適合品となり廃棄せざるを得ません。
- 消費エネルギーおよびフードロスを低減させるためには、乾燥過程の理解が不可欠です。しかし、生麺のような低含水率生物素材の乾燥においては、**水分移動と状態変化**の要素が複雑に関与しており、**それらを調べるよい方法が無い**ため、よく分かっていません。
- 本課題では、**放射光を使って乾めん乾燥過程の水分変化、状態変化を観察できることを期待**し、放射光X線CTを使って麺の乾燥過程を非破壊観察しました。

【放射光測定】

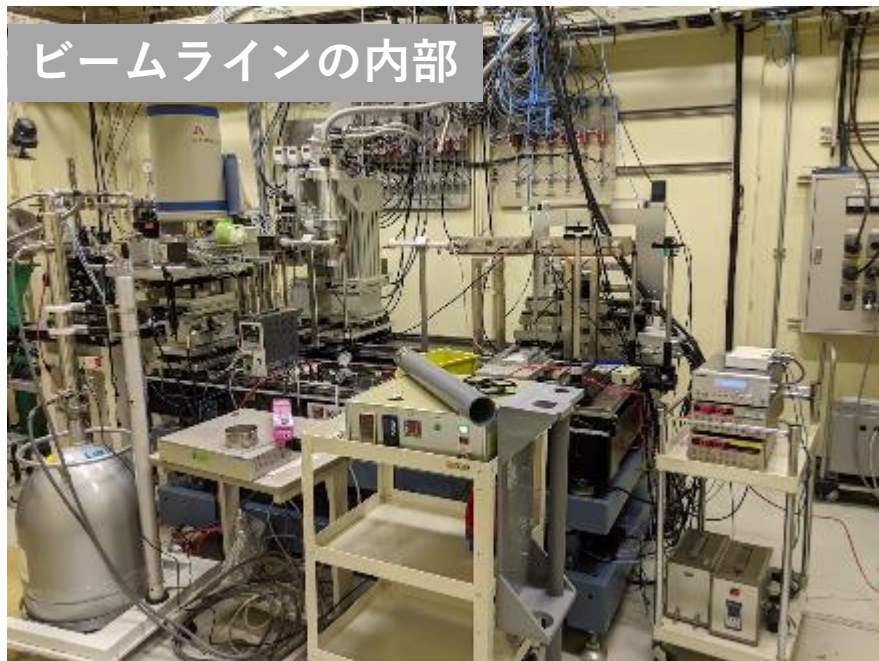
放射光測定：SPring-8・BL14B2



ビームラインの外観



ビームラインの内部



サンプルをセットするところ

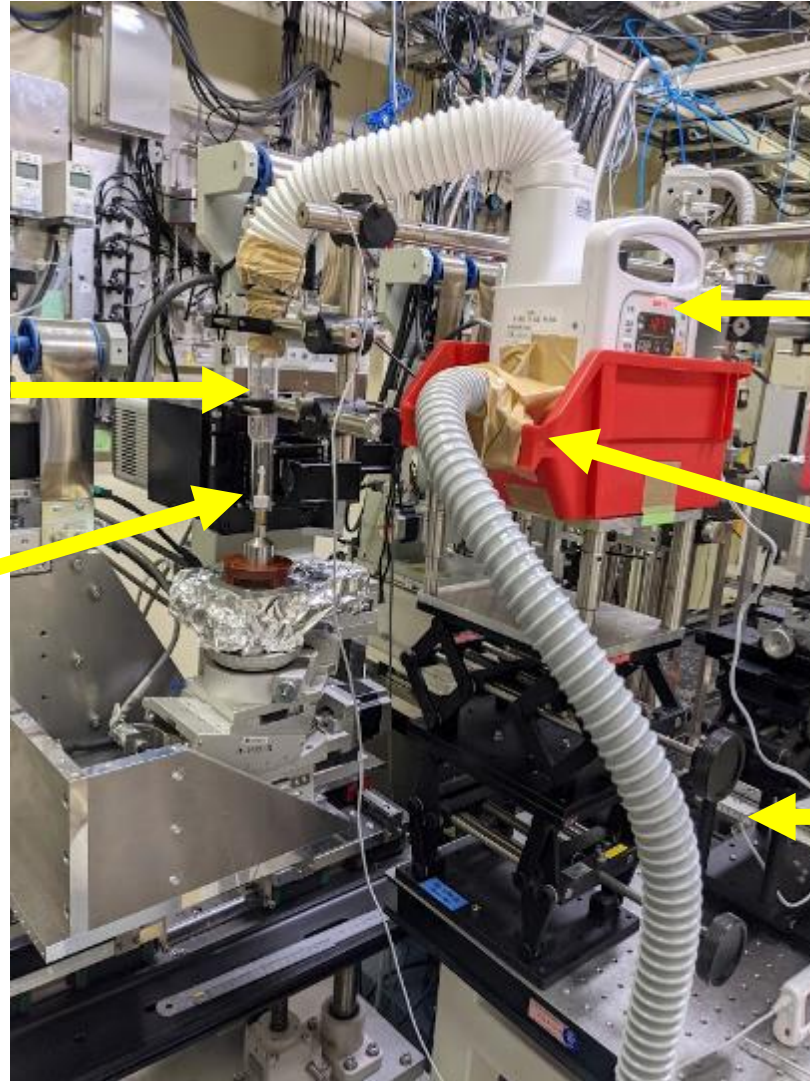


放射光測定：乾燥工程を放射光測定の実験場で再現

温度、湿度をモニター

サンプル

サンプルに、布団乾燥機から加湿した温風を吹き付けながら測定。

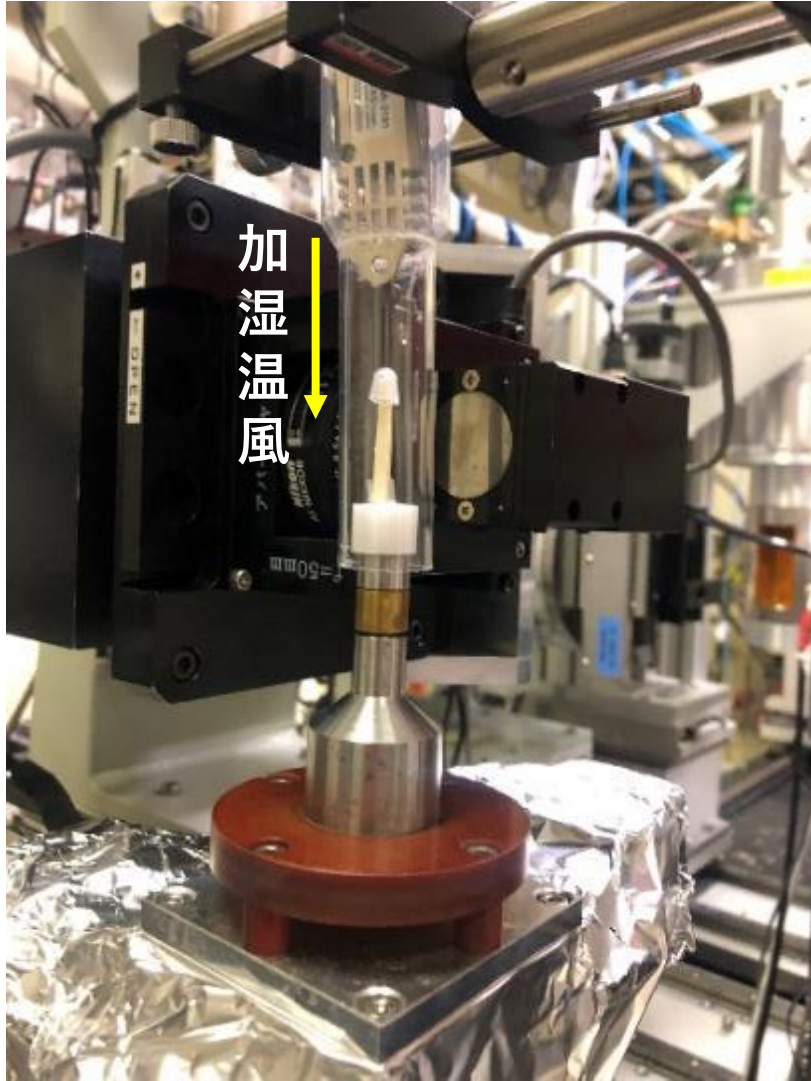


布団乾燥機

加湿した空気を布団乾燥機の吸気口からとりこむ。

加湿器からのホース

放射光測定：乾燥工程を放射光測定の実験場で再現



温風送風機から排出された加湿温風を内径18mmの円筒に導入しました。

放射光測定と同じ条件で
実験室において麺を乾燥した時の
麺の変化

東北大学大学院農学研究科で
再現実験を実施

乾燥特性測定：乾燥工程を東北大院農学研究科で再現



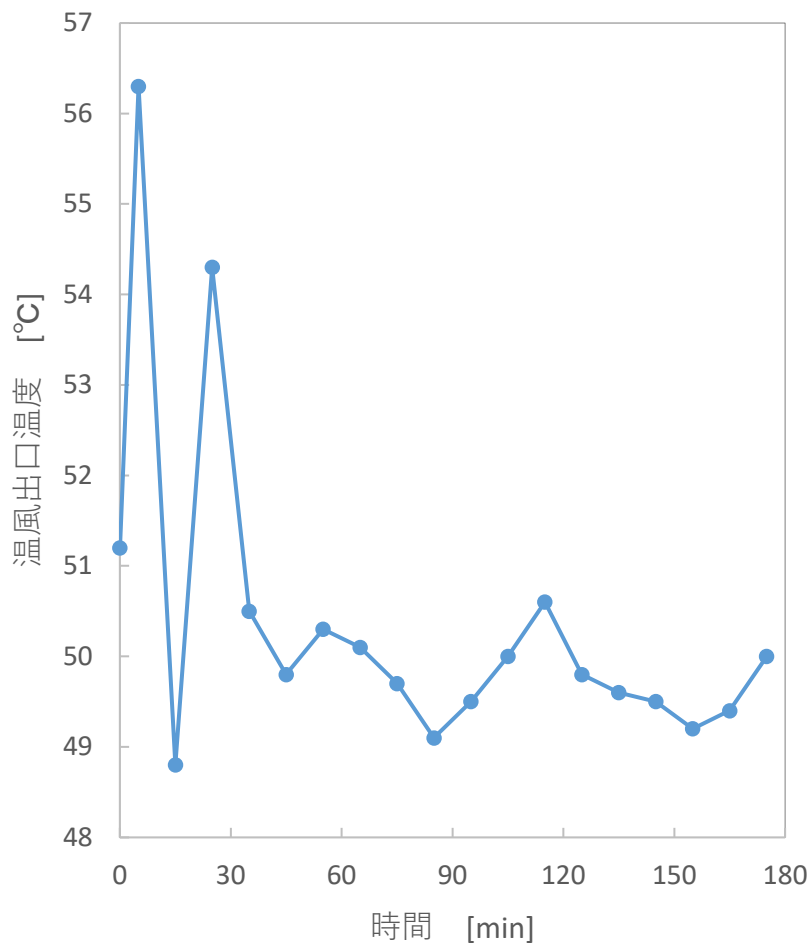
生うどんをその円筒内に保持することによって乾燥しました。

温風速度は1.89 m/sです。

温風の温度、湿度をセンサーでモニタリングしました。

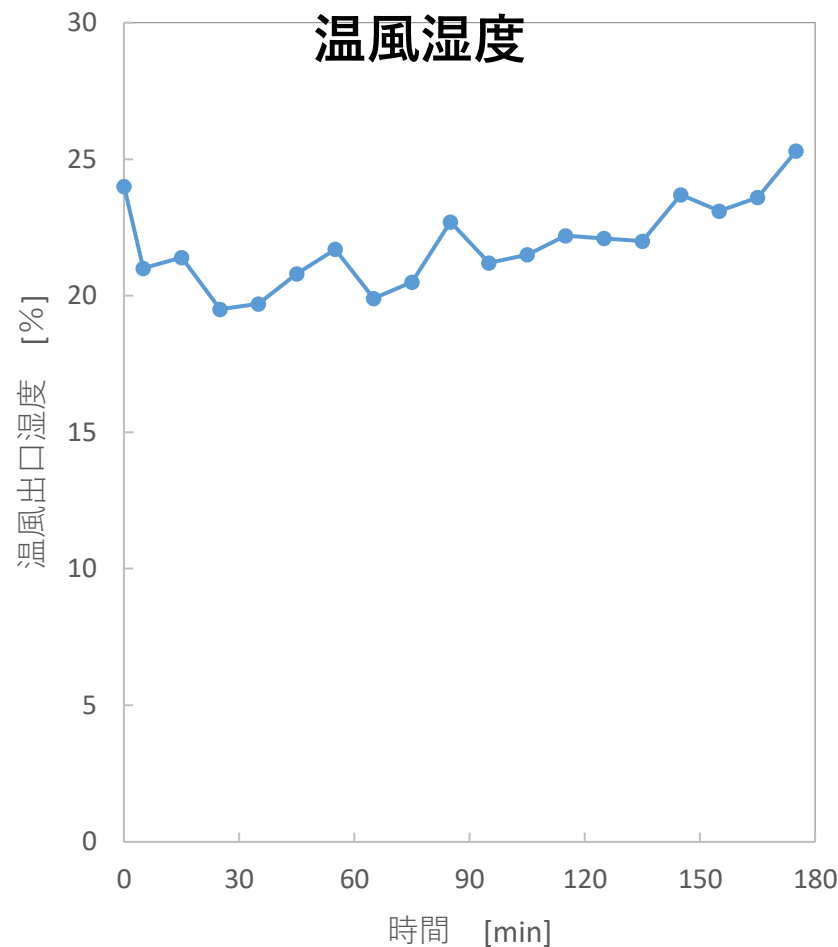
生うどんを放射光測定と同条件（50℃）で乾燥した時の 経時変化：温風の温度と湿度

温風温度



温風温度も品温も速やかに一定となりました。

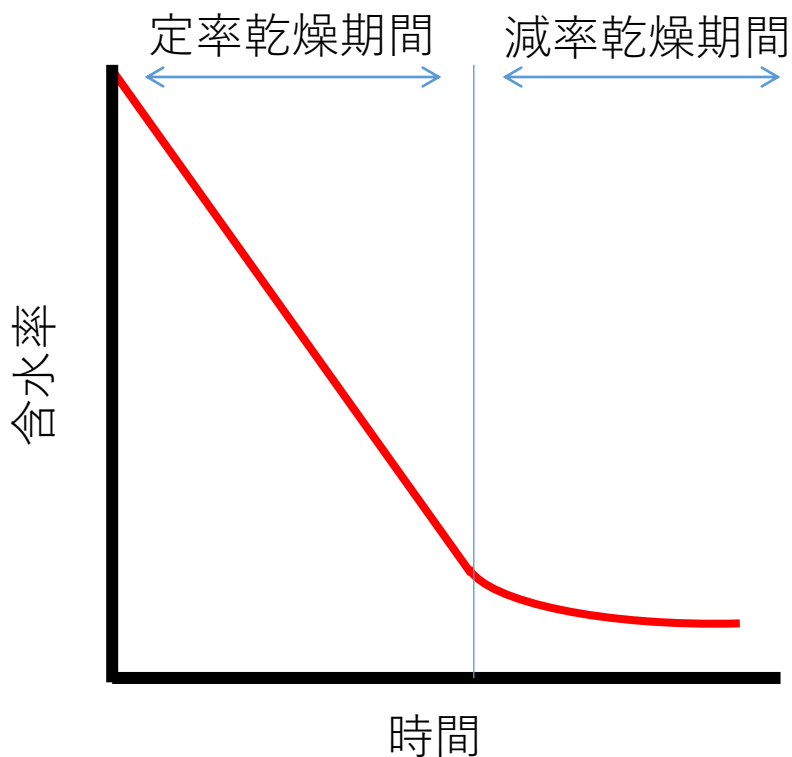
温風湿度



湿度も±5%の範囲で安定しました。

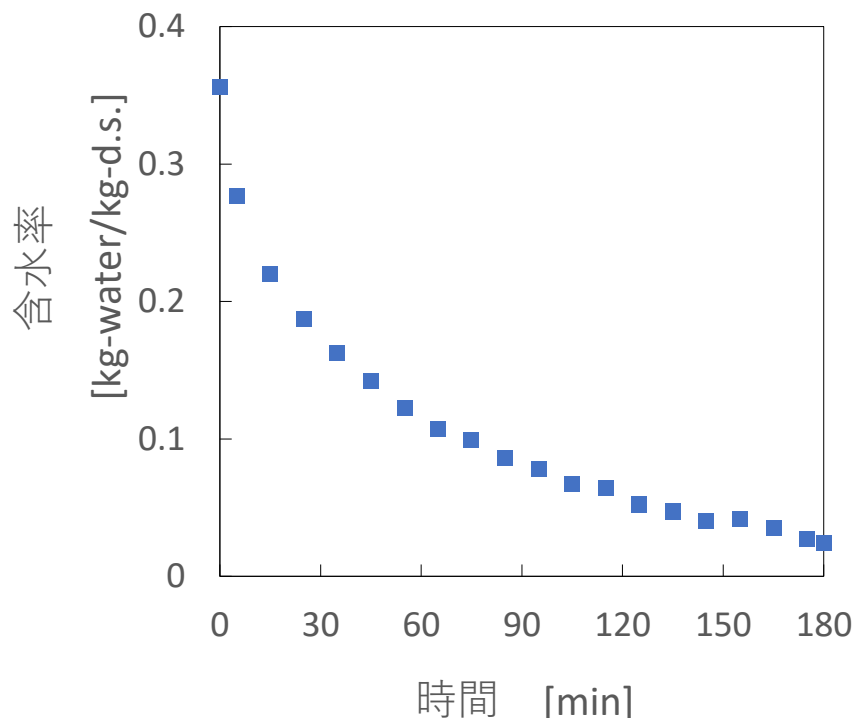
生うどんを放射光測定と同条件（50℃）で乾燥した時の 経時変化：含水率

一般的な乾燥工程



乾燥初期の水分減少速度が一定である**定率乾燥期間**と、乾燥中・後期の水分減少速度が減速する**減率乾燥期間**に大別される。

- 湿度（22%）と温風温度（50℃）を放射光で測定した条件に合わせて測定した場合の含水率の変化。
- 経時的な重量減少から蒸発した水分量を見積もり、含水率の変化としました。



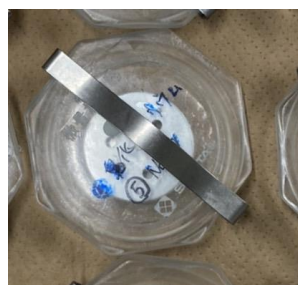
- うどんの乾燥では、定率乾燥期間は認められませんでした。

生うどんを放射光測定と同条件（50℃）で乾燥した時の 麺の物性（曲げヤング率・曲げ破断応力）の挙動

50℃で様々な湿度（含水率）に調湿した麺をサンプルとして、クリープメーターを用いて、曲げヤング率と曲げ破断応力を求めました。

調湿方法：飽和塩溶液法

測定方法：三点曲げ試験

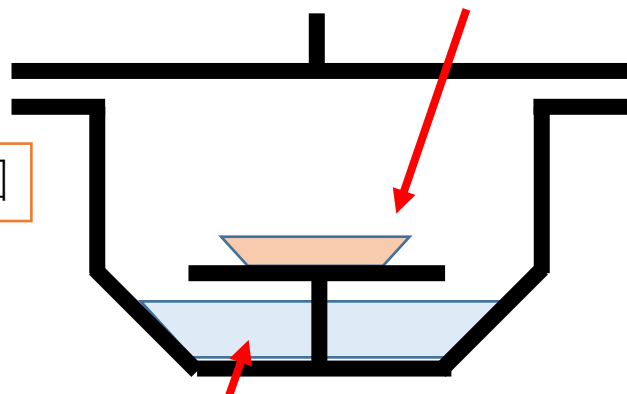


密閉容器



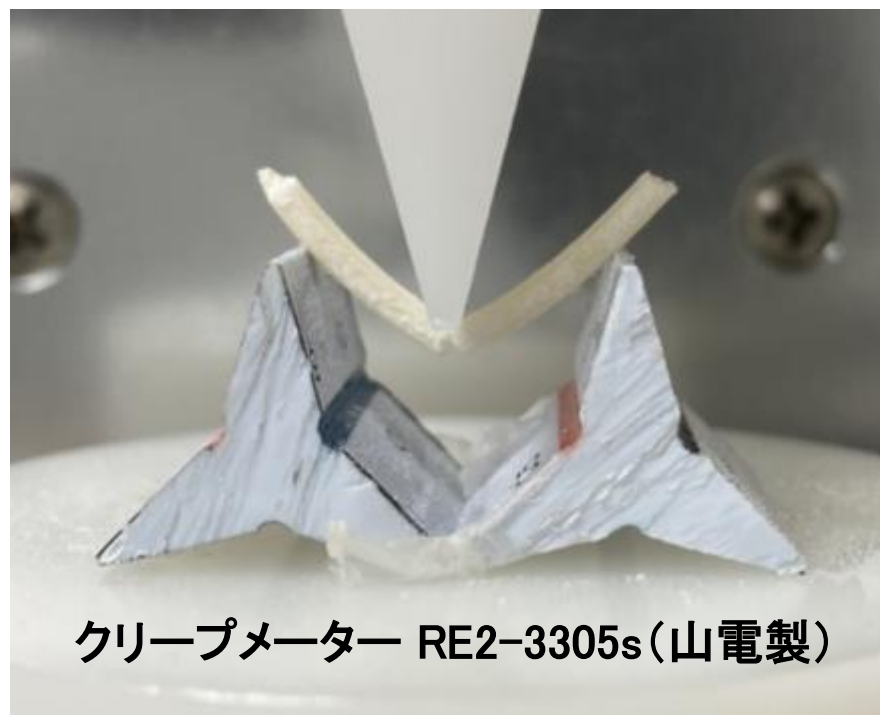
うどんを載せた皿

模式図



飽和塩溶液で密閉容器内を調湿

飽和塩溶液雰囲気下、50℃で
48時間保持して平衡化

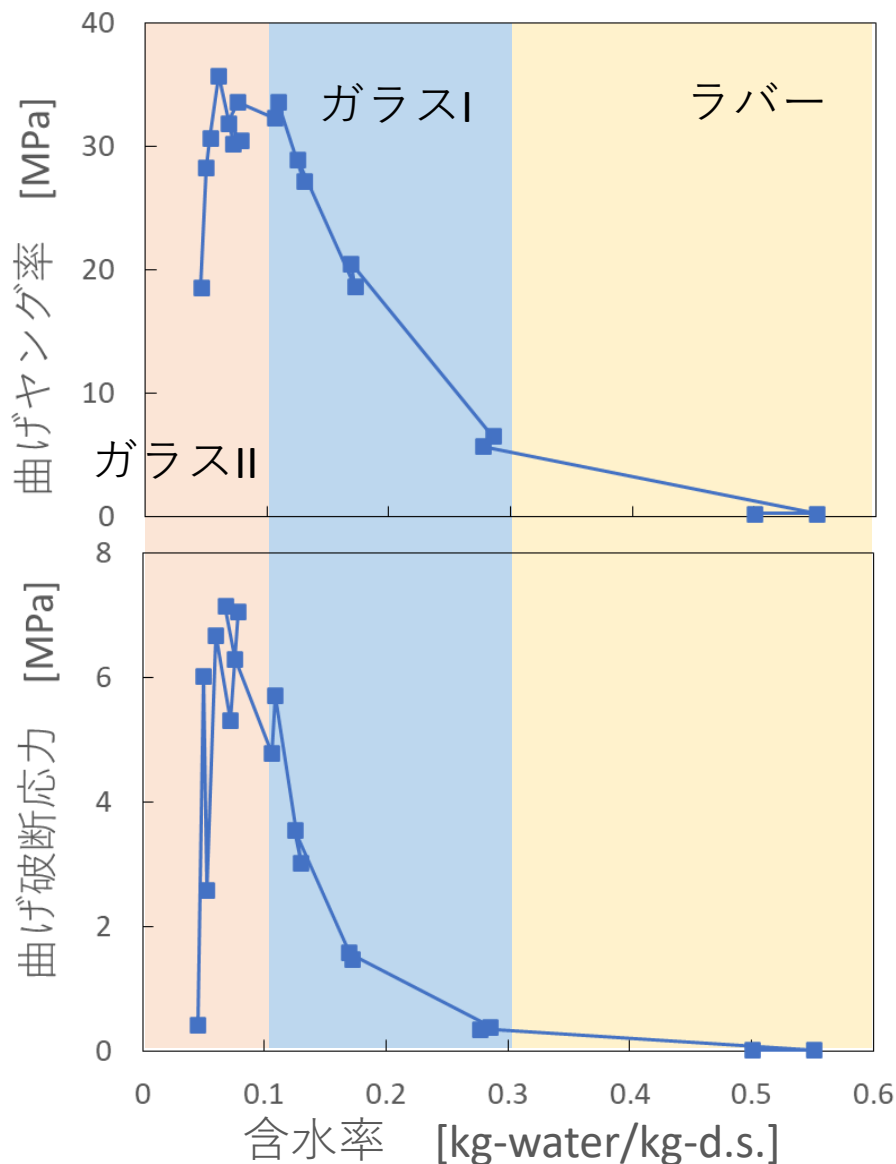


クリープメーター RE2-3305s (山電製)

曲げヤング率＝麺の硬さ(数値が大きいと硬い)

曲げ破断応力＝麺が割れるのに要する応力

生うどんを放射光測定と同条件（50℃）で乾燥した時の 麺の物性（曲げヤング率・曲げ破断応力）の挙動

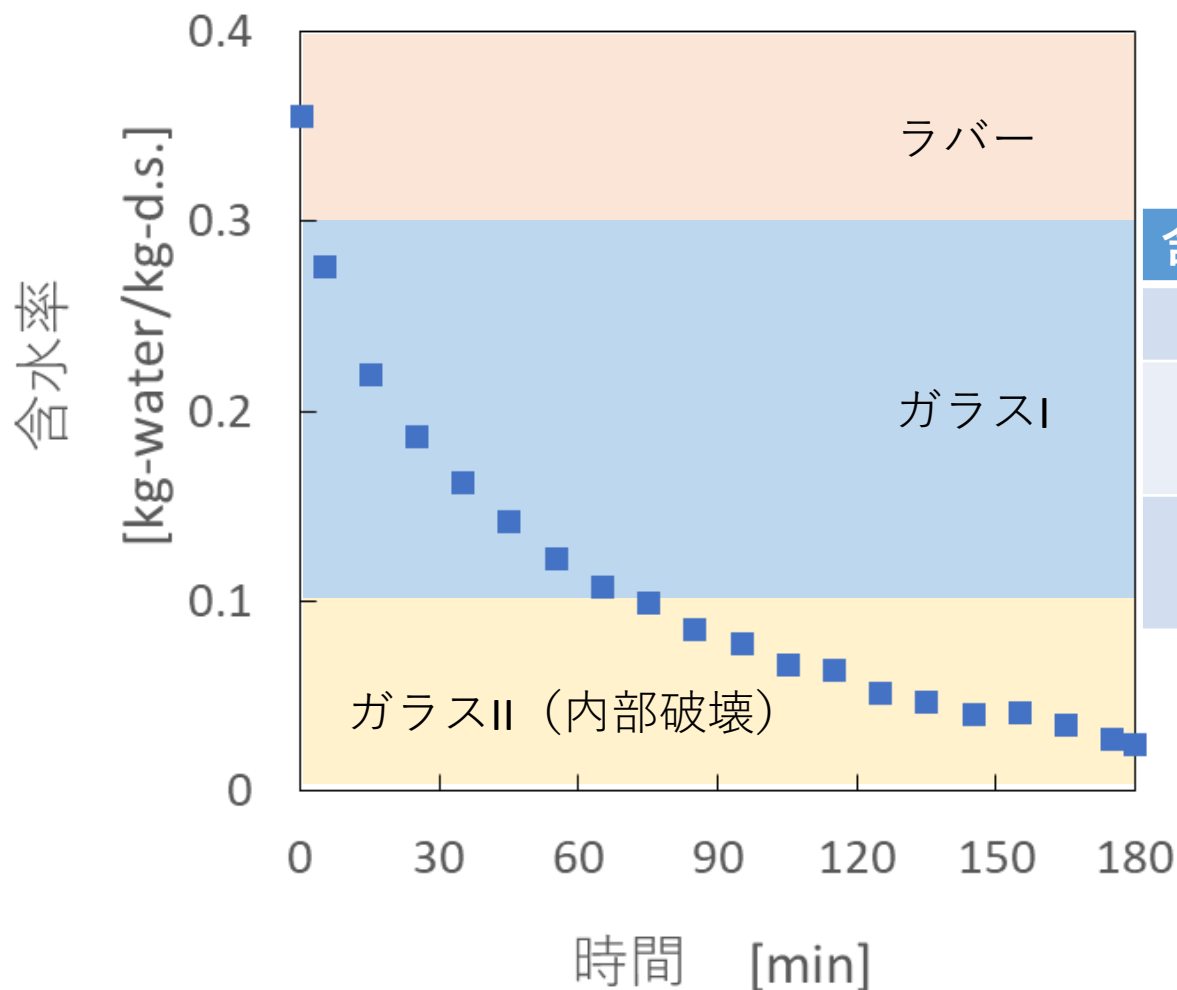


- 曲げヤング率は含水率が低下するにつれて高くなり、含水率が0.1を下回ると壊れやすくなることがわかりました。
- 曲げ破断応力に関しても、含水率が低下するにつれて高くなり、含水率がさらに低くなると壊れやすくなる傾向を示しました。

いずれの測定項目でも、含水率に依存して、うどんには3つの状態があることが示されました。

| 含水率 | 状態名 | |
|-------------|-------|--------------------|
| 0 ～0.1 | ガラスII | 内部に亀裂が入って壊れやすい状態 |
| 0.1 ～0.3 | ガラスI | 高分子が固まった状態 |
| 0.3～ | ラバー | 高分子に流動性があるゴムのような状態 |

含水率と麺の物性（曲げヤング率・曲げ破断応力）の 変化から見積もられる麺の状態の経時変化



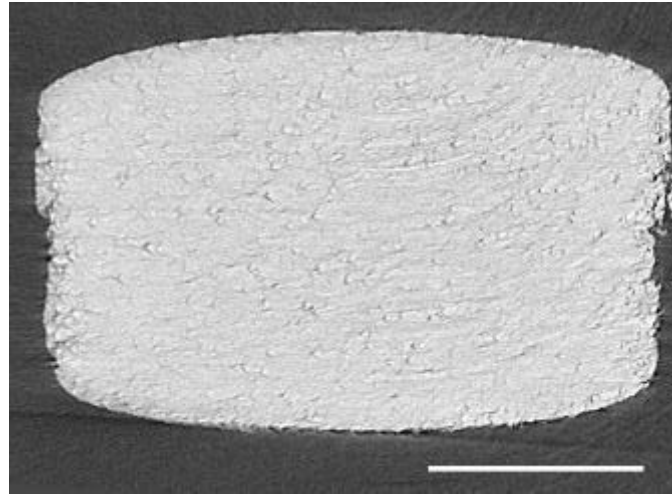
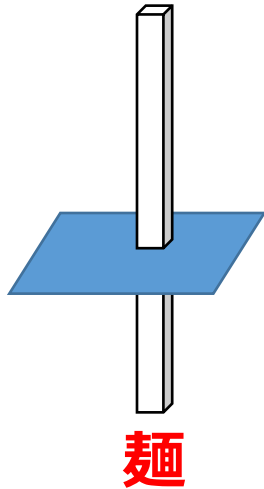
放射光で実施した乾燥実験のポイント

- 麺は温度50°C、湿度22%の温風が吹き付けられている。
- 麺が乾燥して含水率が低下すると、麺の弾力や壊れやすさが変化する。
- 50°Cで乾燥する時の麺は、含水率に基づき3つの状態に分けられる。

| 状態名 | 乾燥時間 | 含水率 | |
|---------------|--------|---------|--------------------|
| ラバー | ～5分 | 0.3～ | 高分子に流動性があるゴムのような状態 |
| ガラスI | 5分～70分 | 0.1～0.3 | 高分子が固まった状態 |
| ガラスII 内部破壊 | 70分～ | 0～0.1 | 内部に亀裂が入って壊れやすい状態 |

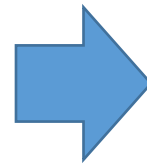
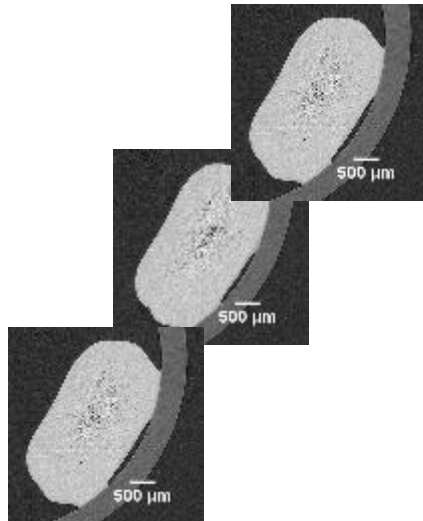
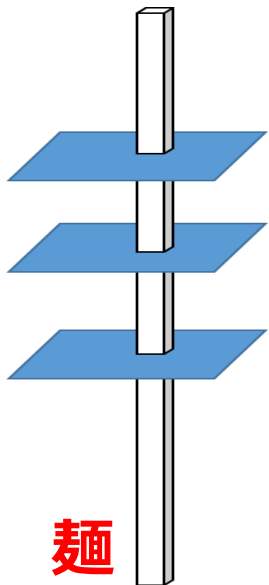
【放射光測定結果】

生うどんの断層画像



1測定5分
解像度：2.9 $\mu\text{m}/\text{pixel}$

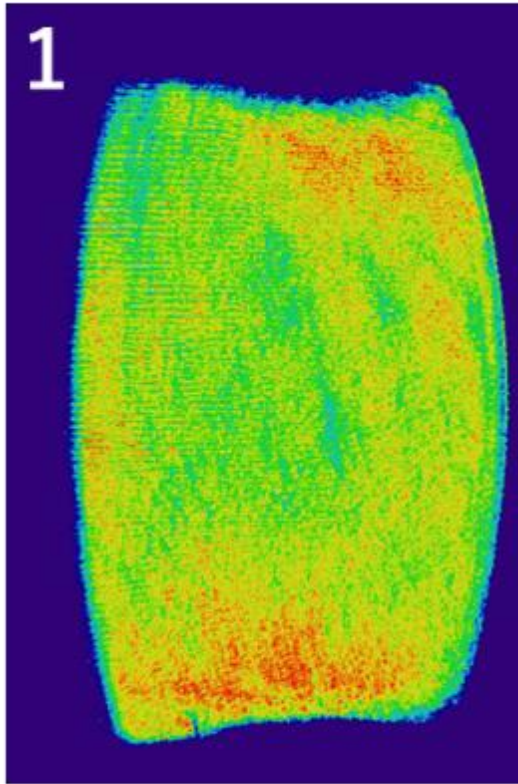
麵の断層画像が得られました。




画像平均化

仙台市トライアルユース事業（令和2年度）
東北アグリサイエンスイノベーション様が
開発した麵の画像解析方法

うどんの断層平均画像（画像解析後）

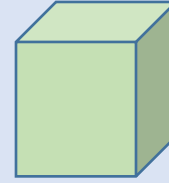


X線吸収量
低  高

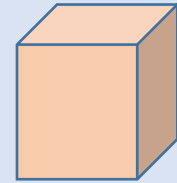
左上の数字は
乾燥時間 [分]

放射光の単色X線という特徴を使う場合、
X線の吸収量は麺の密度と水分で変わる。

密度



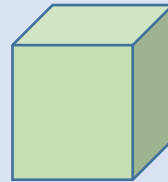
密度：低
X線吸収：低



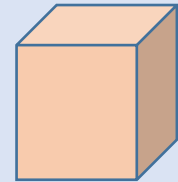
密度：高
X線吸収：高

同じ組成の物質の場合、
密度が高い方がX線の吸収量大きい

水分



水分：低
X線吸収：低

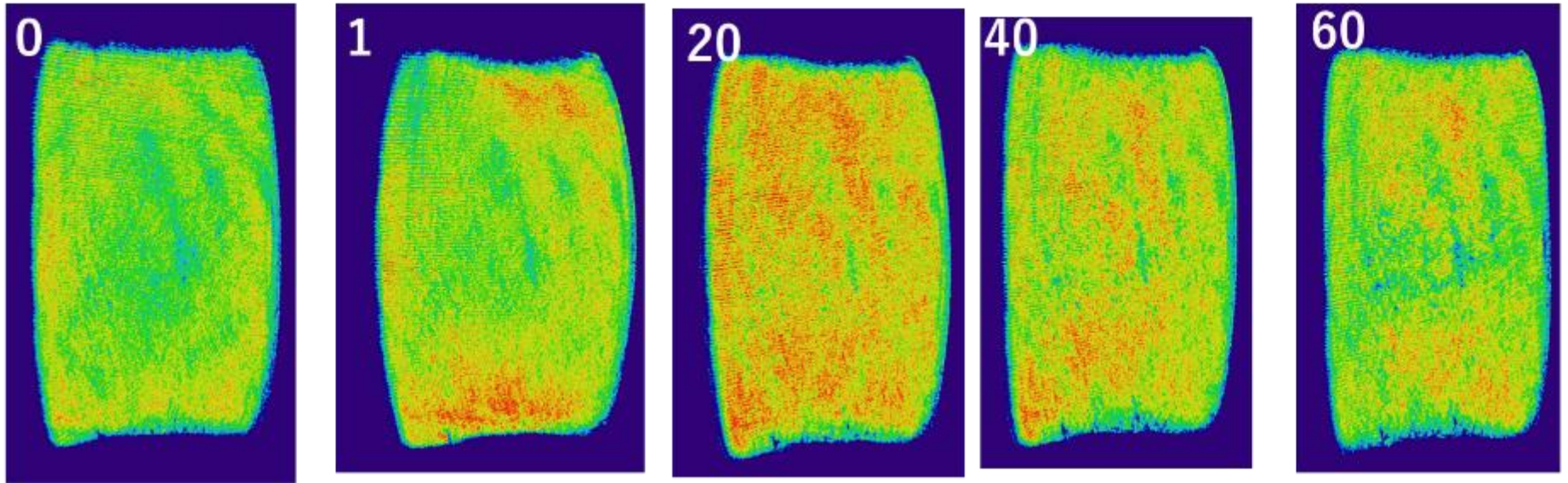


水分：高
X線吸収：高

同じ密度の物質の場合、
水分が高い方がX線の吸収量大きい


X線の吸収が大きいところ（画像の赤いところ）は
他の所より **密度が高い** または **水分が多い**

うどんの乾燥過程の断層平均画像・その1



ラバー状態

ガラス状態

X線吸収量
低  高

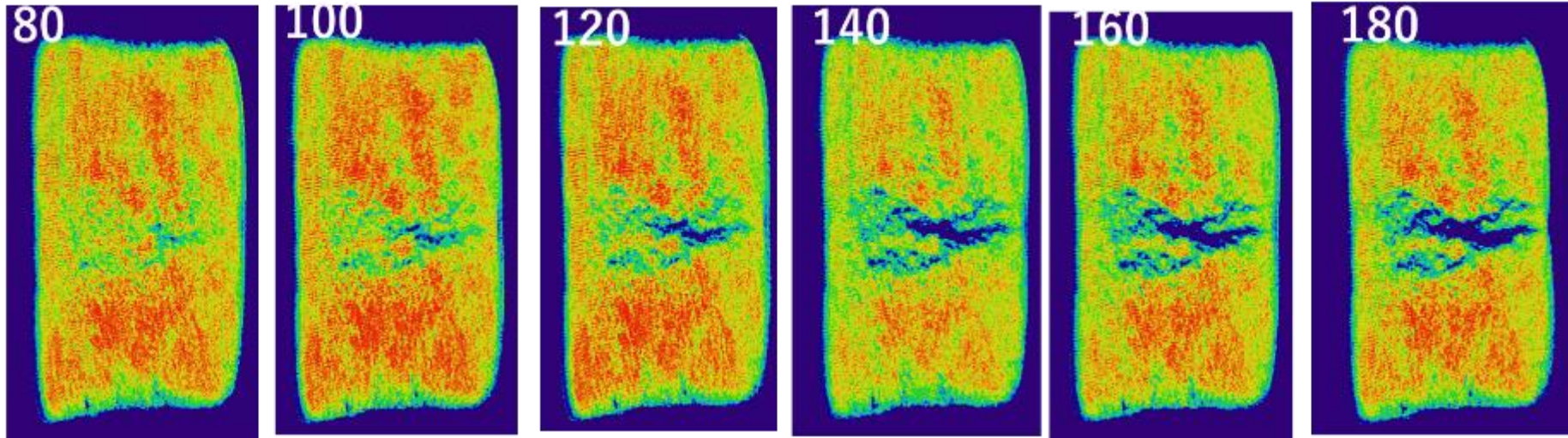
左上の数字が
乾燥経過時間 [分]

画像解析の結果から分かったこと

0～20分（ラバー状態）は、経時的に**x線吸収量が大き**くなっており、**密度の上昇**（麺の収縮）の寄与が大きい。

20～60分（ガラス状態）は、経時的に**x線吸収量が小さ**くなっており、**水分の減少**の寄与が大きく表れた。

うどんの乾燥過程の断層平均画像・その2



ガラス状態II（内部破壊）

X線吸収量

低  高

左上の数字が
乾燥経過時間 [分]

画像解析の結果から分かったこと

80分以降（ガラス・内部破壊状態）は、
経時的に**空隙（亀裂）が顕著**になっており、
壊れやすくなる現象と一致していました。

本事業の成果

麺の乾燥過程では、含水率に応じて

乾燥初期 ラバー (含水率0.3以上)

乾燥中期 ガラスI (含水率0.1~0.3)

乾燥後期 ガラスII (含水率0.1未満)

の3状態がありました。

画像解析の結果

→ 麺が収縮して密度が増加する。

→ 水分の減少と麺の収縮が減速する。

→ 内部に亀裂が生じる。

ことが示唆されました。

- 加湿乾燥機を持ち込んでX線CTを使うことで、麺の乾燥工程を非破壊で観察できる可能性を示すことができました。
- 単色X線を選ぶことによって、X線吸収から麺の状態変化を理論的に解釈することが出来そうでした。
- 麺の内部亀裂は製品不良の原因となるため、**麺がガラス状態になるまで含水率を下げつつ、その一方で麺の内部亀裂が生じないようにすることが不可欠であることが分かりました。**
- 非破壊X線吸収測定によってフードロスを抑制する乾燥条件が決定できる可能性が示されました。

プロジェクト支援者からのコメント

(東北大学大学院農学研究科/放射光生命農学センター)

今回の放射光を利用した食品分析での総括を、以下に示します。

- X線CT測定に乾燥機を組み合わせることができました。実験室CT装置では、このような大掛かりな装置を組み込むことは難しいです。
- 放射光の単色X線を利用することで、画像のコントラストを理論的に解釈することができます。
- さらに、ノイズの少ない画像データを利用することができることから、水分やうどんの組成に基づくX線吸収量から、乾燥や密度の変化を数値化し、評価に用いることができます。
- 含水率や曲げヤング率などを測定して麺の状態を判定するのは手間がかかりますが、X線CTで麺の画像診断が非破壊でできれば、全量検査によって、不良品の出荷を防止することができるのではないかと期待しています。

謝辞

東北大学大学院農学研究科／放射光生命農学センター

藤井 智幸 教授

日高 將文 助教

SPring-8／JASRI

梶原堅太郎 博士

本発表内容に関するお問い合わせ先： 藤井智幸（東北大学大学院農学研究科）
メールアドレス：atom@tohoku.ac.jp