冷凍うどんの品質評価と課題解決に向けた技術開発

喜田直孝†，島田浩基，古橋敏昭，村上菜摘

テーブルマーク株式会社　研究開発部

1. 緒　　言

冷凍うどんは平成 26 年度には冷凍食品国内生産量が第 1 位の約 17 万トン（シェア 11.0%）[1] となり，今や国内の冷凍食品の中で確固たる地位を築くようになった．これだけ多くの方々に親しまれる冷凍食品となるに至ったのには，テーブルマーク株式会社（TM）の長年に亘るたゆまぬ技術開発が少なからず貢献してきたと自負している．

TM は，1956 年に香川県観音寺市で創業を開始した（株）加ト吉を前身とした会社である．TM は，当時全国的にはあまり知られていなかった香川県名物「さぬきうどん」の美味しさを全国に広めたいという強い想いから試行錯誤を重ね，1974 年に冷凍さぬきうどんの日本初の工業的生産を開始した．発売当初は当然認知が進まず，加えて一般的なチルドうどんの市場価格が一玉 30 円に対し，冷凍さぬきうどんは一玉 100 円と高価であったこともあって，10 年程販売は伸び悩んだ．しかし，地道な営業活動に加え，様々な技術革新を重ねた結果，調理の簡便性は勿論のこと，そのコシのある食感に代表される美味しさをお求めやすい価格で楽しめることがお客様に支持されて，発売から 40 年を超えた今では年間 5 億食を生産する弊社の主力商品となっている．

しかしながら TM では現状に満足することなく，もっともっと打ち立て，茹でたてのうどんの美味しさを日本全国へお届けしたいという想いで，工業化技術につなげる品質設計（品質評価･解析から製造プロセス解析･製法開発まで）と，「冷凍うどん」の品質課題に対する取組などの研究開発を重ねてさらなる品質を追求し続けている．

2. 冷凍うどんの品質評価

うどんに期待することに関して消費者調査を行うと，コシ，もちもち感，のど越しなどの品質（主に食感）への期待が圧倒的に多い．そのため，これらに求められる品質特性を定量的尺度で表現 / 解析できる評価法の構築が非常に重要となる．TM では，主観的な官能評価を極力単純な強度で表せる項目に絞って点数化するとともに，客観的数値指標として圧縮破断特性および動的粘弾性特性の機器測定物性値も同時に評価 / 解析することによって麺の食感をより的確に表現することや，特徴的な食感発現のメカニズムを物性面から明らかにすることなどに取り組んでいる [2-4] ．

それぞれの評価を行う際には，極力ブレを低減するために調理方法や評価時間などのプロトコルを定めている．

2.1 官能評価

官能評価を行う上で重要なポイントは，嗜好性を極力排除したシンプルで強度表現可能な評価ワードを選択し，上限下限のモノを定め，パネルがともに評価して尺度を共有化することである．例えば，うどんに求められる「コシ」を官能評価でダイレクトに定量的な評価をすることは，人によって抱いている質的なイメージが異なるため，意外と難しい．そこで我々はうどんの「コシ」を表現する際には，強度表現が可能な「硬さ」と「粘り」で評価している．このように要素分解して評価することで，これらのバランスによって「コシ」の質までが表現可能となる．

2.2 機器測定評価

機器測定では，咀嚼時を想定して，主に圧縮破断試験を利用するが，これについても官能評価との絶対的な相関を取れる訳ではないので，得られる波形などの

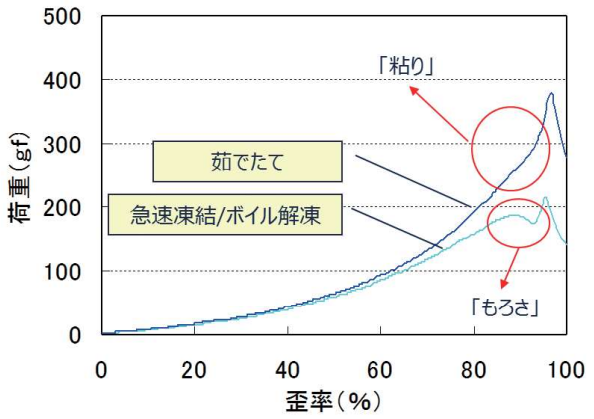


Fig.1　圧縮破断測定波形例

情報を素直に見て，強度のみならず，波形などからも質を読み取る必要がある．一例として，Fig.1 に茹でたての手打ちさぬきうどんと，それを急速凍結した後にボイル解凍した時の圧縮破断波形を示す（株式会社山電製クリープメータ，接触幅 1 mm 楔形プランジャー，圧縮破断速度 1 mm/sec）．茹でたてでは歪率 80％を超えて荷重がさらに急速に上昇する「ずり」，すなわち「粘り」が発現するのに対し，それを冷解凍したものでは，「硬さ」と「粘り」が低下して「もろさ」が発現することがよくわかる．

3. 冷凍うどんの製造プロセス解析

生産ラインにおいて麺の品質や生産の安定性を決定するのは，原材料の配合や製造工程，そして製造環境のコントロールを含む各工程条件である．冷凍うどんは原材料を計量してから製品が出来上がるまで約 3.5 時間という長い時間を必要とするため，製造工程条件が品質や生産安定性に与える影響を観察する上で，各工程における生地の状態や物性値を把握して，最終製品の品質との関係を推察する工学的な取り組みが有用である．そのため，麺の品質や生産の安定性に重要であると考えられる主要な工程において，様々な手法を用いて生地状態や物性のモニタリングを実施し，工程間の関係性や品質に与える影響を明らかにした．

3.1 冷凍うどんの製造工程

Fig.2 に冷凍うどん製造工程概略図を示す．以降，冷凍うどん製造においてポイントとなる各工程を概説する．

サイロに蓄えられた原料を真空ピンミキサーに移送し，塩水と混合して捏ね上げて生地を作るのがミキシング工程である．小麦粉製品におけるミキシング工程は非常に重要で，とくに捏ね上げ温度やミキシングの羽根形状，速度，時間は，グルテンの形成性を決定付ける重要な要素となる．冷凍麺では喫食時の食感を保つために，減圧状態でミキシングするのが一般的である．

ミキシング工程で捏ね上げた生地は，ローラーで挟み込んで帯状の麺帯にまとめる粗延べ工程を経て，生地の粗密をなくし，麺帯や最終製品の強度をもたせるために 2 枚の粗麺帯を 1 枚に複合する．そして 2 時間の熟成によって十分に生地中の水和分散を進行させた後，所定の厚みまで徐々に圧延を繰り返し，所定の太さ，長さに切り出して麺線とする．圧延ローラーの形状や段数，圧延の比率は最終の製品食感に大きく影響する．

切り出された麺線はそのまま茹で槽に投入され，所定の時間で茹で上げ，即座に水洗，冷却をし，余分な水分をきって凍結用容器に充填される．

その後，重量チェックや金属探知機を通して，急速凍結される．茹で上げから凍結完了までの時間を極力短くすることで，解凍調理後にもコシのある良好な食感を維持することができる．

凍結された製品は，凍結用容器と分離され，異物探知機や金属探知機を通した後，個包装される．

その後，さらに X 線探知機を通し，商品形態に応じて包装され，再び重量チェックと金属探知を行い，箱詰めして製品となる．

3.2 生産ラインのリアルタイムモニタリング

各工程条件が製造安定性，生産性および品質に与える影響を明らかにすることを目指し，リアルタイムで

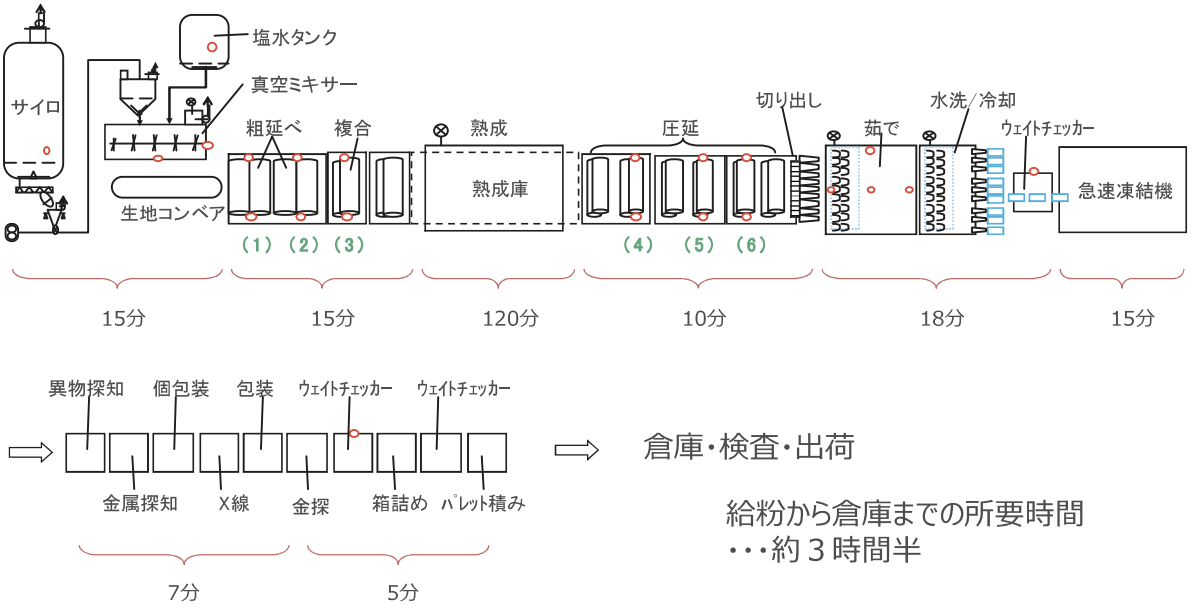


Fig.2 冷凍うどん製造工程概略図

のモニタリングを試みた．モニタリングしたポイントは，ミキシングに関係する諸因子や生地の物性を反映する圧延負荷，茹で槽の温度や茹で上げ後の製品重量であり，各工程条件の関係性に加え，製品食感との関係性についても検討したので，その一部を示す．

3.2.1 捏ね上げ温度が圧延負荷に及ぼす影響

各圧延ローラー支持部に圧力端子を取り付け，麺帯の反発力（反力）を測定し，捏ね上げ温度や茹で後重量との関係性を解析した．

Fig.3 に捏ね上げ温度と反力の関係の一例を示す．横軸は測定時刻，縦軸は捏ね上げ温度および連続圧延工程の反力をとっている．この日は，捏ね上げ温度が低い時には反力が高めに推移し，逆に高い時には低めに推移する逆相関の傾向があることがわかる．

3.2.2 反力と茹で後重量との関係

Fig.4 に反力と茹で後重量の関係の一例を示す．初期バッチ（B；ミキサー容量を１単位として表す）は製品の重量不足を防ぐために意図的に重めに出しているが，初期の段階から反力と茹で後重量がほぼ同じ形で推移しており，反力の変化に対して茹で後重量の変化が密接な正の相関関係をもつことがわかった（R=0.91 以上）．

反力，すなわち圧延負荷は，生地の弾性が高い，もしくは麺厚が厚くなった時に高くなるので，切り出し時の最終麺厚が厚めになって重量が追随するものと考えられる．

3.2.3 茹で温度と茹で後重量との関係

Fig.5 に茹で槽の麺投入部の温度と茹で後重量との関係の一例を示す．微少な茹で槽の温度変化が茹で後の製品重量変化とほぼ対応しており，茹で温度が高いときには，重量も高くなるという，正の相関をもっていることがわかる．

3.2.4 茹で後重量への工程影響

Fig.6 に，茹で後重量と相関の高かった連続圧延の反力と茹で温度が，茹で後重量に与える影響例を示す．

この日の製造では，前半は茹で槽温度がほぼ一定で，反力の影響が強く出ているが，後半は反力が低くても重量が上がっており，茹で温度の影響が強く出ていることがわかる．毎日のデータからは，反力や茹で温度

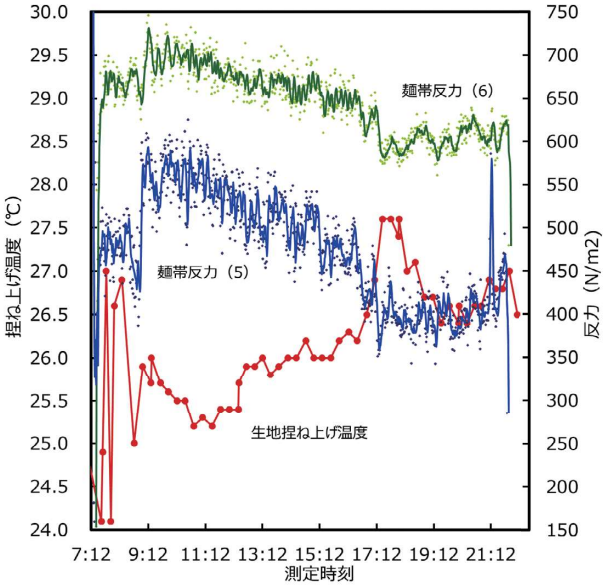


Fig.3　捏ね上げ温度と反力の関係例

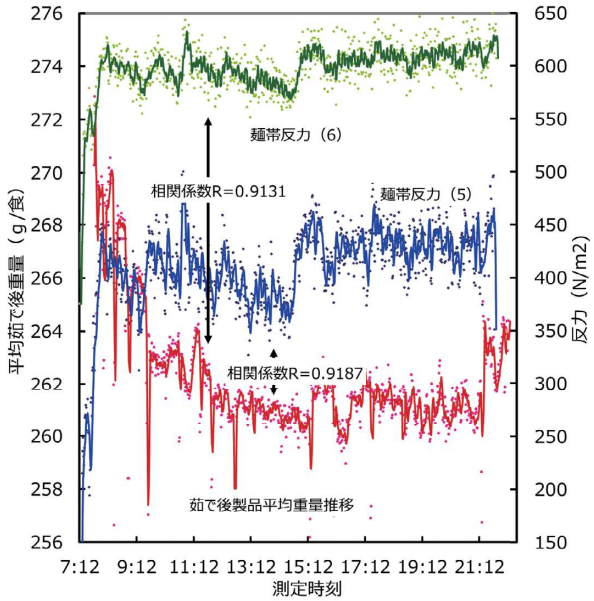


Fig.4　反力と茹で後重量との関係例

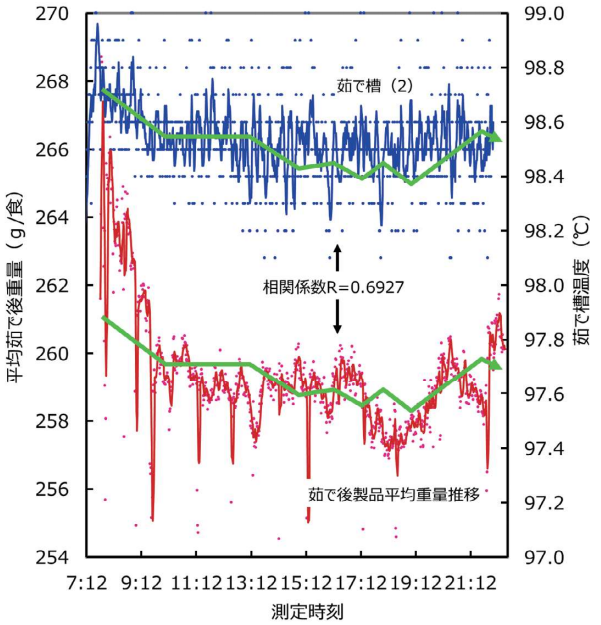


Fig.5　茹で温度と茹で後重量との関係例

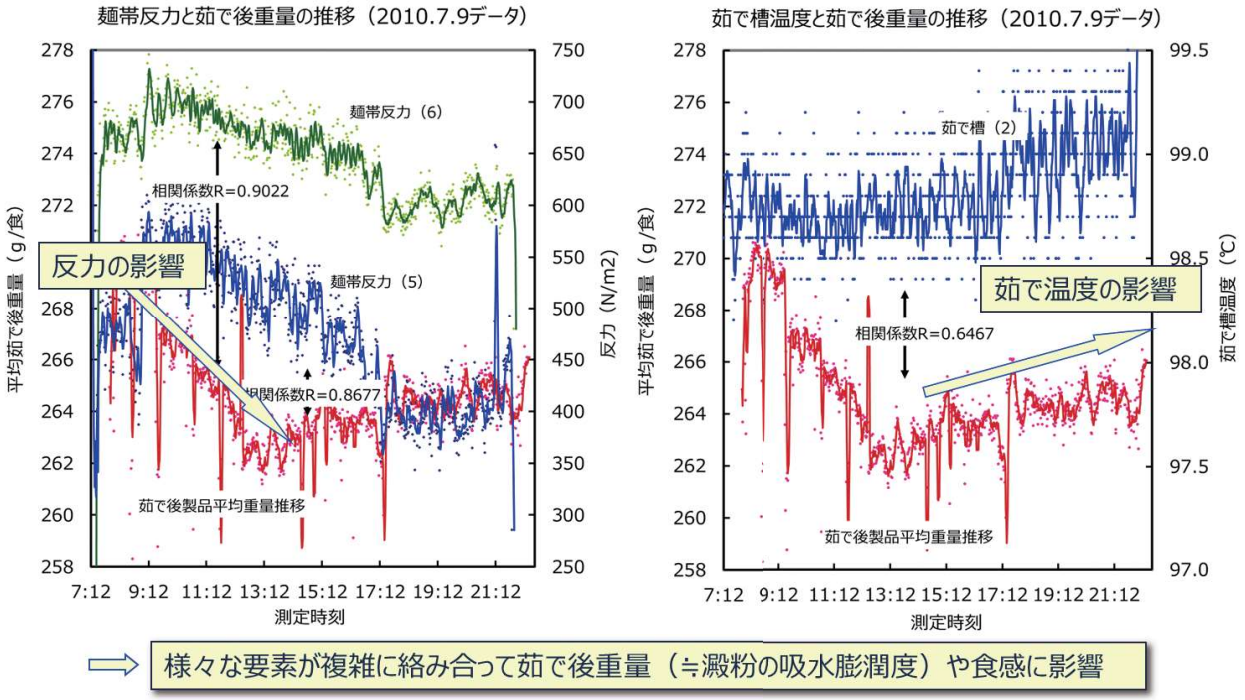


Fig.6　反力，茹で温度と茹で後重量との関係例

の影響度合いは必ずしも一定してはおらず，様々な要素が複雑に絡み合っていると考えられるが，捏ね上げ温度などミキシングの状態が麺帯の状態に影響を与え，麺帯の状態や茹で温度が生産性，すなわち茹で後重量に大きな影響を与えていることが明らかになった．

3.2.5　製造工程の品質への影響

これらの工程パラメーターが変動している時に，品質はどの程度変動しているのかを調べるため，製造開始直後から終盤までの製品をサンプリングして食感を評価した．Fig.7 に当日の工程データ，Fig.8 にサンプリングした製品の食感評価を示す．

工程データ	1B	5B	15B	45B
捏ね上げ温度（℃）	26.8	25.3	25.5	26.6
平均茹で湯温度（℃）	98.4	98.8	98.8	99.4
平均反力（5）（N/m2）	134.4	413.3	407.8	426.2
平均反力（6）（N/m2）	507.5	600.1	569.9	609.5

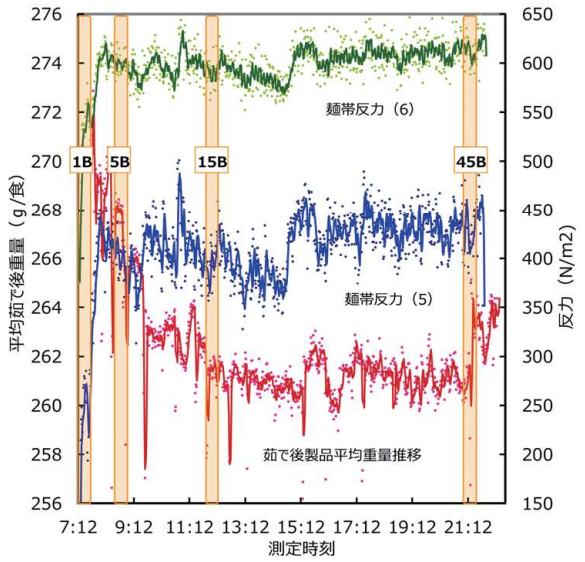


Fig.7　サンプリング当日の工程データ

工程パラメーターの違いは，捏ね上げ温度は 1B と 5B がやや高く，茹で温度は 1B がやや低めで 45B が高くなっている．反力および茹で後の重量推移は，1B の反力が顕著に低くなっている他は同程度になっている．

官能評価および機器測定結果を統合した食感評価点を算出し（Fig.8 上図），比較的変化が大きかった弾力と粘りでマッピングしたものを拡大したのが Fig.8 下図である．同じものとして認識される程度の 0.1–0.2 点の僅かな差ではあるものの，捏ね上げ温度が若干高めで，反力，茹で温度が低めであった 1B は他のバッチに比べ，やや柔らかく，粘り強い食感になっており，工程条件の変化が食感にも影響していることがわかる．

これまで紹介した変動は，製品重量であれば数 g，食感評価点では 0 コンマ数ポイントの差ではあるが，生産の高度安定化が品質の高度安定化にも繋がることが明確になったので，その後のライン設計や新規導入設備仕様決定の際の参考としている．

3.3　生産ラインのオフラインモニタリング

製品品質に関わる重要な工程として，熟成工程および茹で工程について，オフラインで食感との関係を解析した．

3.3.1 熟成時間が食感に与える影響

熟成工程における経時的な生地の状態変化を電気的な特性変化で捉えることを試みた．実験は，真空ミキシングおよび常圧ミキシングした生地を熟成工程中に取り出して，ϕ30 の電極に挟み込み，10 mV の電圧をかけながら，0.1Hz～10kHz まで周波数を変化させた時のインピーダンス（Ω）を測定し，複素平面上にプロットしたナイキスト線図から，解析ソフトを用いて等価回路を仮定した．フィッティングした想定等価回路の抵抗を縦軸に，時間での変化をプロットし，熟成時間による抵抗値の変化を計測した（Fig.9）．どちらも抵抗値 3000Ω程度でほぼ変化は収束し，その時間は，真空ミキシングでは 60 分前後，常圧ミキシングでは 120 分前後であった．真空ミキシングした場合，水和の状態や生地密度が高く，常圧ミキシングに比べて早くに状態が均質化して抵抗が収束したと考えられる．

真空ミキシングした生地を，熟成時間 0 分から 120 分まで 30 分ごとにサンプリングして冷凍うどんを作成し，食感を評価した（Fig.10）．官能評価と機器測定の値を統合した食感評価点を比較的変化の大きい硬さと粘りでプロットすると，熟成時間とともに硬さが和らいで粘り強い食感に変化し，60 分以降ではほとんど同じ食感となることがわかる．これは先に示した抵抗値の変化とほぼ同じ傾向であり，電気的特性の変化は生地の状態や食感の変化をよく表現していると考えられる．

熟成では澱粉近傍への水配置，すなわち水和が進むことによって，茹で工程でも澱粉がそれぞれ効率的に吸水して膨潤，α化できることが食感の違いとして現れていると考えられる．

3.3.2 茹で条件の影響

茹で時間によるα化度，各種物性値，および食感への影響を検討した．

Fig.11 に茹で時間による α 化度変化を示す．α 化度は BAP 法と改変ソモギー法を用いて測定した．α 化度は茹での初期と，12 分以降で急激に上昇した．

一方，各茹で時間における物性の変化をみると（Fig.12），圧縮破断測定における最大荷重は 12 分付近が最も低く，破断荷重が現れ始める．水分値は 15 分位から変わらなくなる．食感としては 9 分以降，中心部

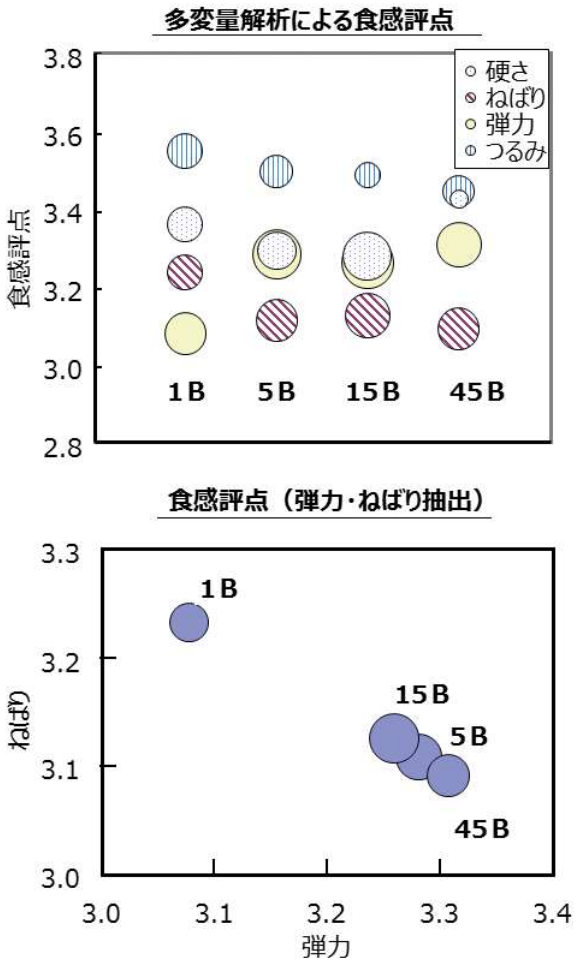


Fig.8　サンプリング当日の食感評価データ

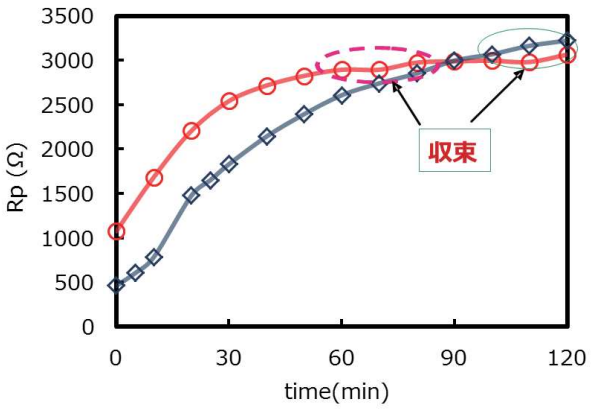


Fig.9　熟成時間による抵抗値の変化

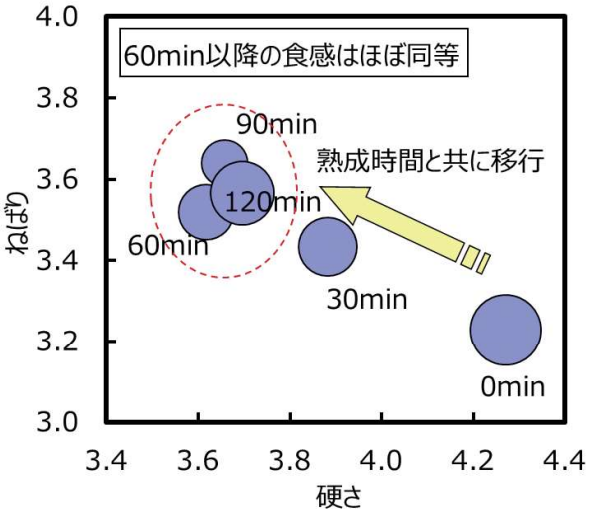


Fig.10　真空ミキシング品の食感評点マップ

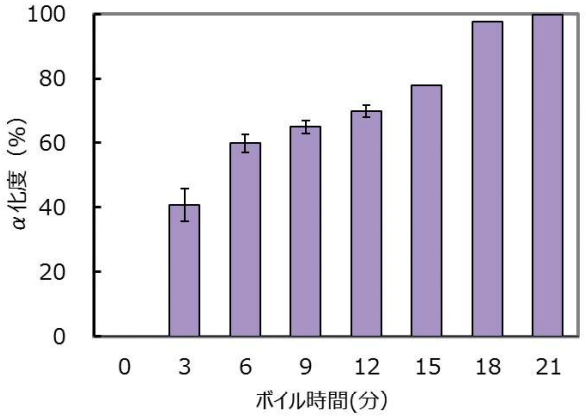


Fig.11　茹で時間による α 化度変化

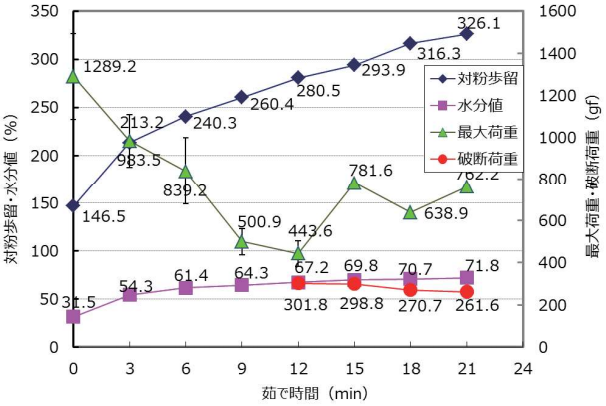


Fig.12　茹で時間による物性変化

の粉っぽさがなくなり，15 分以降では角が崩れてのびた様な食感となる．

この試料の場合，茹で時間 12 分前後に色々な物性の変曲点が存在しており，この変曲点にあたる茹で時間が，冷凍うどんにした時の品位が最も良好なことがわかった．

4.　冷凍うどんの保存中の品質変化

冷凍うどんでは，冷凍物流・保管時に品質劣化が発生する場合がある．その劣化現象には 2 つのパターンがある．1 つは麺表面の冷凍焼けであり，麺表面が乾燥・白色化する現象である（Fig.13）．

劣化程度が大きくなると，茹で調理でも復元できず，芯のある歯切れの悪い硬い食感になってしまう．とくにレンジ調理では乾燥部分の硬化が目立ち，噛切れないほど硬化する場合がある．この原因は保管中の温度変化に伴う袋内の飽和水蒸気圧変化によって引き起こされる昇華現象である（Fig.14）．例えば，麺の保管温度が −20℃から −10℃へ変化した場合，速やかに温度が追随した袋内の飽和水蒸気圧は 1.03 hPa から 2.60 hPa となり，蒸気圧差によって麺から氷が昇華する．再び袋内温度が −20℃へ変化すると，過剰の袋内の飽和水蒸気圧が低下し，余剰の水蒸気は霜となって麺の表面へ凝集，付着する．この繰り返しで麺の表面が乾燥して，脱水・白色化（冷凍焼け）が進行すると考えられる．とくにレンジ調理の場合は，調理過程での水分供給がないため，硬化の程度はより大きくなる．

この現象を抑制するため，各種方法を検討したが，その中で最も効果が高かったのは，真空包装と，麺表面への糖液の噴霧であった．真空包装は，脱気によって冷凍焼けの原因となる飽和蒸気圧差自体をなくす方法である．

一方，麺表面への糖液の噴霧では，各種糖液の中で，マルトース噴霧による効果が最も高かった．Fig.15 に冷凍保存中の麺の重量変化を，Fig.16 に冷凍保存中の冷凍焼け状態の変化を示す．冷凍保存は，−20℃と −5℃に 30 分ごとに変動する様にプログラミングした恒温槽を用いた．冷凍焼け状態の評価については，目視で表面の冷凍焼け状態を 5 段階評価しており，官能評価指標は下記の通りとした．

＜冷凍焼けの官能評価基準＞

5：変化なし
4：霜発生，わずかに麺が白い
3：霜発生，所々麺が白い
2：霜が多く発生，全体的に白い
1：霜が多く発生，全体的に白く，乾燥でスカスカの麺あり

マルトースの効果には及ばないが，他にもグルコースやトレハロースなどの単糖，二糖でも冷凍焼けの抑制効果があることを確認している．



Fig.13　冷凍焼け品の外観

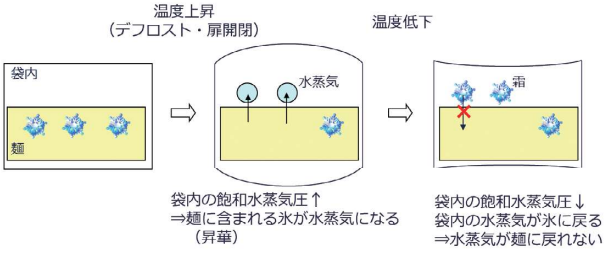


Fig.14　冷凍焼けの推定メカニズム

これらの結果から推定した冷凍焼け抑制のメカニズムを Fig.17 に示す．冷凍保存中の温度変化に対し，昇華と凝集の繰り返しは糖液を付着させていない場合と同様に発生するものの，麺の内部からよりも表面に付着している糖液からの水分移動（昇華）が優先的におこり，温度低下時にはまた表面の糖へ水分が凝集するサイクルを繰り返すことで，麺自体の冷凍焼けを抑制していると考えられる．糖の中でもとくにマルトースは水分を離しやすく，再び吸着しやすい性質が強いと考えられる．

もう１つは澱粉老化に近い現象で，冷凍保管温度帯により，麺物性の劣化が進行してボソボソな状態となる現象である．とくに流水解凍タイプの製品で夏場に発生し，流水解凍調理では加熱糊化できないため，劣化した麺はボソボソの食感になり，見た目にも透明感がない．この原因は，麺中心部の未凍結水分量の影響による氷結晶の成長とそれに伴う凍結濃縮にあることが種々の検討より示唆されている．

これらの品質劣化は流通や保存中の温度変化に大きく依存するため，メーカーの商品設計のみでコントロールすることは難しいが，可能な限りこれらの劣化を抑える技術を検討してきた [4]．これら保存・輸送時における品質課題は，冷凍食品全般の共通課題であるので，冷凍食品の品質に対する科学的・工学的な取組について紹介し続けていくことで，冷凍食品業界全体のレベルアップを図りたいと考えている．保管・物流においてもさらなる温度管理の強化をお願いしたい．

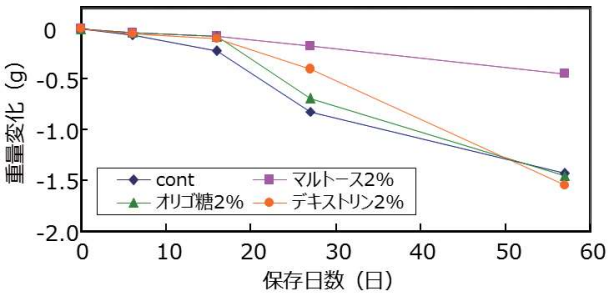


Fig.15　糖液噴霧品の冷凍保存中の重量変化

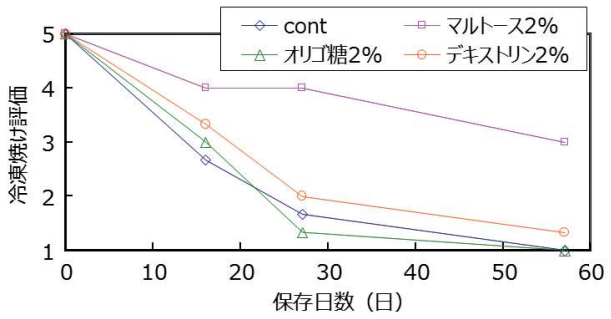


Fig.16　糖液噴霧品の冷凍保存中の状態変化

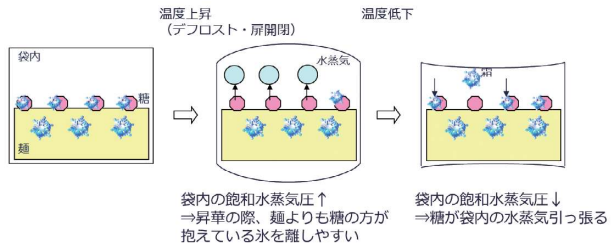


Fig.17　冷凍焼け抑制効果推定メカニズム

5.　結　　び

冷凍うどんをさらに美味しく，安定した品質で提供するために，より客観的な食感評価や工程モニタリングによる生地物性評価等などに基づく製造条件の最適化は欠かせない．さらに冷凍物流や保管中におきる品質変化を極力抑えること，より調理性を向上することなど含め，これからも皆様に，より愛される冷凍うどんの提供を目指していきたい．

2013 年には，厳選した原料を用い，製造工程にこだわった「丹念仕込みさぬきうどん」を発売した．この商品は多加水の生地をしっかり捏ね上げて，十分な熟成を取り（綾・熟成法），これまでの冷凍うどんとは明らかに異なる，強いねばりと硬さを有する食感を特長とした商品である．売り場で見かけた際には是非お試し頂ければ幸いである．

謝　　辞

今日の冷凍うどんは，様々な関係者が 40 年以上に亘って積み上げてきた膨大なノウハウの上に成り立っている．この場を借りて偉大な先人たちに心からの敬意と感謝を捧げたい．

引　用　文　献

1) H. Shimada, A. Watanabe, N. Kida; “Objective Evaluation Method for the Texture of Udon Noodles”(in Japanese). Japan J. Food. Eng., **12**, 169–172 (2011).
2) T. Furuhashi, H. Shimada; “Quality Superiority and Subjects of Frozen Udon Noodles”(in Japanese). Refrigeration, **89**, 66–73 (2014).
3) H. Shimada; “Quality Deterioration Phenomenon of Frozen UDON Noodles”(in Japanese). Japan J. Food. Eng., **15**, 115–118 (2014).

引用 URL

i) www.reishokukyo.or.jp/statistic/top20item/ (Nov. 21,2016)