

平成 24 年 3 月 12 日

平成 23 年度レギュラトリーサイエンス新技術開発事業
事後評価用報告書

課題番号：21049

「加熱食品中のアクリルアミド生成に影響する要因の解明及び実用可能な低減技術」

研 究 期 間：平成 21 年度～平成 23 年度（3 年間）

研究総括者名：(独) 農研機構 食品総合研究所 食品分析研究領域長 吉田 充

試験研究機関名：(独) 農研機構 (食品総合研究所、野菜茶業研究所)

女子栄養大学

(財) 日本食品分析センター

(株) 吉田園

I. 試験研究の全体計画

1. 研究目的

発がん性や神経への悪影響が懸念されるアクリルアミドは、食材を 120℃以上で加熱した時に主にアミノ酸の一種であるアスパラギンと還元糖が反応して生じることが知られており、WHO は各国に対して、特にアクリルアミドの摂取寄与が大きい食品における低減に取り組むよう勧告している。アクリルアミドの生成量は、食材の成分や加熱条件によって大きく変動し、同じ調理品や加工食品でも、アクリルアミド濃度量に数 10 倍の差があることが知られている。このことは、調理・加工条件を工夫すれば、味や食感、色や香りなど食品のおいしさを損なうことなく、アクリルアミドの低減が可能な場合が多いことを示している。

本研究では、

1. 加熱調理によるアクリルアミドの生成に影響する要因解明とそれに基づいた低減調理法の提案
 2. ほうじ茶及び麦茶に含まれるアクリルアミドの生成要因解明と低減技術の開発
 3. 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリングと変動要因の解析
- により、日本人におけるアクリルアミド摂取量への寄与が特に高い調理品・加工食品におけるアクリルアミドの生成に影響する要因を究明し、品質やおいしさの低下をもたらさずにアクリルアミド濃度の低減が可能な方法を明らかにする。

その結果、

1. アクリルアミドが生成している可能性が高い、油で揚げる等といった 120℃以上で加熱する調理過程を含む調理品に関して、アクリルアミドを低減できる調理法、調理条件が明らかになる。
2. アクリルアミドの摂取寄与率の高い日本独特の加工飲料であるほうじ茶、麦茶のアクリルアミドを低減する製造法が開発される。
3. 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度の制御が適切に行われていない時季や場合の原因が推定され、行政におけるリスク管理に役立つ。
4. 日本人のアクリルアミド摂取量が低減され、アクリルアミドによる健康リスクが減ることが期待される。

2. 研究内容

1. 加熱調理によるアクリルアミドの生成に影響する要因解明とそれに基づいた低減調理法の提案

これまでの調査・研究の結果、アクリルアミド濃度の範囲が広く、場合によっては 1 食分からのアクリルアミド摂取量が多くなることが報告されている調理品について、アクリルアミドが多く生じる調理過程と調理条件を明らかにし、アクリルアミドを低減できる調理法、調理条件を見いだす。また、日本人の主食であり、摂取量が多い炊飯米からのアクリルアミド摂取量を調べるため、各種炊飯米中のアクリルアミド濃度を分析する。

- (1) アクリルアミドの生成要因の解明と低減調理法を提案するためのモデル調理の実施

これまでの調査・研究の結果、アクリルアミド濃度の範囲が広く、場合によっては 1 食分からのアクリルアミド摂取量が多くなることが報告されている、カレーやシチューなど調理過程で“ルウ”を調製する調理品や炒め物、揚げ物に関して、アクリルアミドが多く生じる調理条件を明らかにするために、様々な調理条件でモデル調理を行い、その調理過程でのサンプリングを行う。

また、日本人の主食であり、摂取量が多い炊飯米のアクリルアミド濃度を調べるため、

米の種類、精米条件、炊飯条件等を変えて調理する。

(2) アクリルアミド濃度の分析と生成要因の解明および低減調理法の提案

課題 1. (1) のモデル調理サンプルについてアクリルアミド濃度の分析を行い、アクリルアミドが多く生じる調理条件を明らかにし、アクリルアミド濃度を低減できる調理法、調理条件を見いだす。

また、課題 1. (1) において調理された炊飯米中のアクリルアミド濃度の分析を行い、その値と国民健康・栄養調査等で報告されている日本人の炊飯米の摂取量をもとに、米からのアクリルアミド摂取の現状を明らかにし、低減が必要と判断された場合は低減法を提案する。

2. ほうじ茶及び麦茶に含まれるアクリルアミドの生成要因解明と低減技術の開発

ほうじ茶と麦茶は加熱により製造される日本特有の嗜好飲料であり、アクリルアミド摂取源としての寄与が大きい。そこで、ほうじ茶と麦茶に含まれるアクリルアミドの低減技術を開発する。

(1) 市販麦茶のアクリルアミド濃度の実態把握

日本で市販されている麦茶のアクリルアミド濃度の実態を把握するとともに、アクリルアミド濃度が低い商品を抽出する。さらに、ロット間差を把握するため、特定メーカーの賞味期限の異なる商品を 1 年に 5 回以上購入し、アクリルアミド濃度の変動を把握する。アクリルアミド濃度が低い麦茶の製造履歴をメーカーへの聞き取り調査により明らかにし、低減法を考案する。

(2) 麦茶のアクリルアミド低減法の開発

麦茶は主に六条大麦と二条大麦を原料として、加熱により製造されている。そのため、焙煎強度（温度と時間）によりアクリルアミドの生成が左右されることが考えられる。そこで、麦茶の原料である六条大麦と二条大麦を温度 140℃から 240℃で加熱時間を制御し、アクリルアミド濃度を把握する。また、アスパラギン濃度と還元糖濃度の異なる原料大麦を入手して焙煎し、アクリルアミド濃度との関係を明らかにする。さらに、得られるデータを元に様々な条件で麦茶を製造し、香り等を官能で評価しながらアクリルアミドの生成を抑える方法を開発する。

(3) 遠赤外線焙煎機を用いたアクリルアミド低減ほうじ茶の製造

通常、ほうじ茶は温度 180℃から 200℃付近の焙煎により製造されている。温度 160℃の焙煎で、アクリルアミド低減ほうじ茶を製造できることが野菜茶業研究所より報告されているが、乾燥機を用いた小規模の試験結果であるため実用性に欠ける。現在、茶の焙煎で利用されている熱源はガス、炭火、遠赤外線（LPG 併用）であるが、ガスおよび炭火を熱源とした既存の焙煎機は温度差 20℃程度の制御が極めて困難である。遠赤外線焙煎機は併用する LPG の供給圧により温度制御が可能であり、温度 160℃の焙煎ができる。そこで本研究では、温度制御可能な遠赤外線焙煎機によるアクリルアミド低減ほうじ茶の製造技術を開発する。原料茶葉は通常ほうじ茶原料に用いている刈番茶（茶葉を摘採後整枝するために刈った茶葉 1 番茶刈番を使用）、棒（棒は茎のこと てん茶棒と被覆栽培されていない棒の 2 種類を使用）、秋冬番茶葉とし、原葉特性に見合った製造方法を開発する。製造されたほうじ茶を官能評価により流通可能かどうかを判定する。なお、アクリルアミドの前駆物質であるアスパラギン、またアスパラギンと反応してアクリルアミドの生成を促進する還元糖、カテキン、さらに製造後のアクリルアミド、カテキンの分析は、農研機構野菜茶業研究所が担当する。研究 2 年目から、上述した原料茶葉を用いてアクリルアミドを低減したほうじ茶を製造することでロット間差を把握する。なお、乾燥機を用いた実験室レベルでの小規模の試験では、温度 160℃の焙

煎でアクリルアミド濃度を約半分に抑えてほうじ茶を製造できるため、工場における製造現場レベルでも、従来の方法で製造されたほうじ茶よりアクリルアミドを半減できる方法の開発を目指す。

3. 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリングと変動要因の解析

日本で市販されているポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリングを行い、製造現場においてアクリルアミド生成の制御が適切に行われていない場合を見出し、その原因を推定し、行政におけるリスク管理に役立つ情報を提供する。データは一般化線形モデルによる要因解析等を基本とするが、行政部局から具体的な解析モデルや手法の提示があれば、要望に応じた解析も行う。

(1) 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリング

日本においてポテトチップスの販売量の多い2メーカーの代表的商品2サンプル（賞味期限の異なるもの）を、6都市（札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡）で、2ヶ月ごとにサンプリングしてアクリルアミド濃度の分析を行う。

(2) 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度の変動要因の解析

アクリルアミド濃度の変動の解析を行い、製造現場においてアクリルアミド生成の制御が適切に行われているかを検討し、なされていない時季や場合については、その原因を推定し、行政におけるリスク管理に役立つ情報を提供する。

3. 達成目標及び期待される成果

1 食分に含まれるアクリルアミド量が $10\text{ }\mu\text{g}$ を超えることがよくある調理品について、アクリルアミド濃度を $20\text{ }\mu\text{g/kg}$ 以下にし、1 食分に含まれるアクリルアミド量を $5\text{ }\mu\text{g}$ 以下に抑えるための調理のポイントを提案する。また、1 日の米からのアクリルアミド摂取量を $1\text{ }\mu\text{g}$ 以下に抑える方法を提案する。

また、遠赤外線焙煎機を用いたアクリルアミド低減ほうじ茶製造技術を確立し、従来の方法で製造すると約 $600\text{ }\mu\text{g/kg}$ の濃度になるほうじ茶中のアクリルアミド濃度を $300\text{ }\mu\text{g/kg}$ に半減させ、このほうじ茶で五訂増補日本食品標準成分表にある標準的方法（ 10 g に 650 mL の熱湯を注ぐ）で浸出液を得て、それを1日に3杯合計 550 mL 程度飲んだとしても、アクリルアミド摂取量が $3\text{ }\mu\text{g}$ 以下に抑えられるようにする。またその製造技術の科学的根拠となるアクリルアミドの生成要因を解明し、遠赤外線焙煎機以外の装置を用いた場合においても、焙煎条件を制御するための情報を製造業者に提供する。麦茶に含まれるアクリルアミドの実態を調査し、低濃度の商品を販売しているメーカーに製造履歴を聞き取る。聞き取り調査を元に低減法を提案する。加えて、アクリルアミドの生成を抑えながら、香りを損なわない焙煎条件を製造業者に提供する。

さらに、ポテトチップスのアクリルアミド濃度の平均が $1500\text{ }\mu\text{g/kg}$ 以上になる月やメーカーを見出し、そのアクリルアミドが低減できない原因を推定し、行政におけるリスク管理に役立つ情報を提供する。

上記の目標が達成され、低減調理技術が家庭や中食、外食産業における調理の現場に普及すれば、日本人の食事からのアクリルアミド摂取量が半減すると予想される。また、麦茶やほうじ茶のアクリルアミドの低減法が普及すれば、コーヒー以外の嗜好飲料からの日本人のアクリルアミド摂取量を半減できる。ポテトチップスにおけるアクリルアミド濃度が高くなる時季の実態に関する情報を行政部局に的確に伝えられれば、リスク管理に役立ち、日本におけるポテトチップスのアクリルアミド濃度の低減のための方向性が明らかになる。

4. 年次計画

研究項目	2009 年度	2010 年度	2011 年度
1. 加熱調理によるアクリルアミドの生成に影響する要因解明とそれに基づいた低減調理法の提案 (1) アクリルアミドの生成要因解明と低減調理法提案のためのモデル調理の実施 (2) アクリルアミド濃度の分析と生成要因解明および低減調理法の提案	調理の実施 (女子栄養大学)		
2. ほうじ茶及び麦茶に含まれるアクリルアミドの生成要因解明と低減技術の開発 (1) 市販麦茶のアクリルアミド濃度の実態把握 (2) 麦茶のアクリルアミド低減法の開発 (3) 遠赤外線焙煎機を用いたアクリルアミド低減ほうじ茶の製造	調理品のアクリルアミド濃度の分析と低減法の考案 (農研機構食品総合研)	市販麦茶のサンプリングとアクリルアミド濃度の分析 (日本食品分析センター)	
3. 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリングと変動要因の解析 (1) 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリング (2) 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度の変動要因の解析	アクリルアミドの生成要因解明と香りを損なわないアクリルアミド低減麦茶製造方法の開発 (農研機構野菜茶業研究所)	アクリルアミド低減ほうじ茶の製造 (吉田園) ロット間差の把握 (吉田園)	
所要経費 (合計)	26,439 千円	20,100 千円	16,200 千円

II. 実施体制

項目	担当研究機関	研究担当者	エフォート (%)
研究総括者	(独) 農研機構食品総合研究所食品分析研究領域	◎吉田 充	30
1. 加熱調理によるアクリルアミドの生成に影響する要因解明とそれに基づいた低減調理法の提案		○ 吉田 充	前出
(1) アクリルアミドの生成要因の解明と低減調理法提案のためのモデル調理の実施	女子栄養大学短期大学部給食管理研究室 女子栄養大学栄養学部実践栄養学科給食システム研究室	△ 三好恵子 堀端 薫	20 20
(2) アクリルアミド濃度の分析と生成要因の解明および低減調理法の提案	(独) 農研機構食品総合研究所食品分析研究領域 (独) 農研機構食品総合研究所食品分析研究領域状態分析ユニット (独) 農研機構食品総合研究所食品分析研究領域状態分析ユニット (独) 農研機構食品総合研究所食品工学研究領域製造工学ユニット	△ 吉田 充 小野裕嗣 (2010. 4～) 塚越芳樹 (2010. 4～) 竹中真紀子	前出 30 5 20
2. ほうじ茶及び麦茶に含まれるアクリルアミドの生成要因の解明と低減技術の開発	(独) 農研機構野菜茶業研究所茶生産省力技術研究チーム	○ 水上裕造	30
(1) 市販麦茶のアクリルアミド濃度の実態把握	日本食品分析センター応用科学事業部 日本食品分析センター試験研究部 日本食品分析センター試験研究部	△ 渡井正俊 木船信行 (～2010. 3) 伊佐川 聡 (2010. 4～)	5 10 10
(2) 麦茶のアクリルアミド低減法の開発	(独) 農研機構野菜茶業研究所茶生産省力技術研究チーム	△ 水上裕造	前出

(3) 遠赤外線焙煎機を用いたアクリルアミド低減ほうじ茶の製造	(株) 吉田園 営業第一課	△ 吉田友輔	15
3. 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリングと変動要因の解析	日本食品分析センター 応用科学事業部	○ 渡井正俊	前出
(1) 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリング	日本食品分析センター 応用科学事業部	△ 渡井正俊	前出
	日本食品分析センター 試験研究部	木船信行 (～2010. 3)	前出
	日本食品分析センター 試験研究部	伊佐川 聡 (2010. 4～)	前出
(2) 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度の変動要因の解析	(独) 農研機構食品総合研究所食品分析研究領域	△ 吉田 充	前出
	(独) 農研機構食品総合研究所食品分析研究領域状態分析ユニット	小野裕嗣 (2010. 4～)	前出
	(独) 農研機構食品総合研究所食品分析研究領域状態分析ユニット	塚越芳樹 (2010. 4～)	前出
	(独) 農研機構食品総合研究所食品工学研究領域製造工学ユニット	竹中真紀子	前出

(注) 研究総括者には◎、中課題担当者には○、小課題担当者には△を付すこと。

Ⅲ. 主要な成果

主要な成果

1. 成果の内容

1) 炊飯米のアクリルアミド濃度の実態把握

日本における一般的な炊飯器で調理した場合、日本人の平均的な米の摂取量では、炊飯米のアクリルアミド摂取源としての寄与の割合は高くないことを明らかにした(Ⅳ. 1 (2))。

2) ブラウンルウのアクリルアミドの低減法の提案

低温で長い時間をかけずに仕上げた淡い色のルウが、アクリルアミド濃度が低いだけでなく、官能評価的にも遜色がないことを明らかにした。アクリルアミド低減のためには、原料に薄力粉を用い、仕上がり色ではなく温度(本研究では 170℃)で判断することが推奨される。(Ⅳ. 1 (1))

3) フライドポテトのアクリルアミド濃度の低減対策

調理程度の異なる調理品の写真を撮影し、同時にアクリルアミド濃度を分析することで、アクリルアミドの低減目標を判断する上で具体的な指標となりうる図を作成した。また、家庭調理へのリスク管理措置を想定した、アクリルアミド低減調理の勧告のための言葉による調理品の仕上がり表現を作成した。さらに、40世帯について調理品のアクリルアミド濃度の頻度分布を確認した。(Ⅳ. 1 (2))

4) トーストのアクリルアミド濃度の低減対策

加熱程度の異なる調理品の写真を撮影し、同時にアクリルアミド濃度を分析することで、アクリルアミドの低減目標を判断する上で具体的な指標となりうる図を作成した。また、家庭調理へのリスク管理措置を想定した、アクリルアミド低減調理の勧告のための言葉による調理品の仕上がり表現を作成した。さらに、40世帯について調理品のアクリルアミド濃度の頻度分布を確認した。(Ⅳ. 1 (2))

5) 麦茶のアクリルアミド低減法

麦茶焙煎の指標は炒り麦の L*値であり、市販品の L*値は 44 未満で、平均 34.34、標準偏差 4.45であることを明らかにした。麦茶のアクリルアミドの低減には、この L*値を低く仕上げるのが有効である。また、麦茶は包装後、ある程度の期間を過ぎるとアクリルアミド濃度が減少し始めることを明らかにした。(Ⅳ. 2 (1)(2))

6) アクリルアミド低減ほうじ茶の製造法

原葉の種類によらず焙煎時間を長くすることで、短時間焙煎品に比べてアクリルアミド濃度が半分以下のほうじ茶が製造できることを示した。また、ほうじ茶を製造後、温度 25℃で保管すると 6ヶ月後以降アクリルアミドは減少することを明らかにした。(Ⅳ. 2 (3))

7) 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度とその季節変動、年変動の実態把握

日本におけるポテトチップスの市場シェアが大きい 2社の主要商品のアクリルアミド濃度の月と年による変動の傾向を明らかにし、メーカーによるアクリルアミド低減対策の効果と推測される変動もモニタリングすることができた。(Ⅳ. 3 (1)(2))。

2. 成果の活用

1) 炊飯米のアクリルアミド濃度の実態把握

本事業で得られたデータから、炊飯米からのアクリルアミド摂取量については、低減に向けた措置を緊急に講じる必要はないと行政部局が判断し、成果をリスク管理に生かすことができた。

2) ブラウンルウのアクリルアミドの低減法の提案

カレーなどブラウンルウを使った調理品に関して、行政部局がリスク管理措置を検討する場合に利用できるブラウンルウのアクリルアミド低減法を提供した。

3) フライドポテトのアクリルアミド濃度の低減対策

行政部局が、Codex のアクリルアミド低減のための実施規範を踏まえて、我が国におけるフライドポテトに関してリスク管理措置を検討する場合に利用できる家庭調理の実態調査データと、低減調理のための情報を提供できた。

4) トーストのアクリルアミド濃度の低減対策

行政部局が、Codex のアクリルアミド低減のための実施規範を踏まえて、我が国におけるトーストに関してリスク管理措置を検討する場合に利用できる家庭調理の実態調査データと、低減調理のための情報を提供できた。

5) 麦茶のアクリルアミド低減法

麦茶のアクリルアミド低減のためのリスク管理措置を検討する場合に、行政部局が利用できる実態調査データと、低減法に関する情報を提供できた。

6) アクリルアミド低減ほうじ茶の製造法

アクリルアミドを低減したほうじ茶を製造する条件を明らかにし、ほうじ茶のアクリルアミド低減のためのリスク管理措置を検討する場合に、行政部局が利用できるデータを提供できた。

7) 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度とその季節変動、年変動の実態把握

本事業で行った製品の買い取りサンプリングで、アクリルアミドの経口摂取源として重要なポテトチップスに関して、日本の代表的市販製品中のアクリルアミドの濃度変動に関する情報を行政部局に提供でき、このサンプリング方法がモニタリングの目的に合った適切なものであったことを証明できた。この結果に基づき、農林水産省では、2010 年 8 月より、同方法により国内の市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリングを継続している。

IV. 研究実績報告

1. 中課題名「加熱調理によるアクリルアミドの生成に影響する要因解明とそれに基づいた低減調理法の提案」

玄米、発芽玄米、胚芽米、精白米を炊飯してアクリルアミド濃度の分析を行い、日本における一般的な炊飯器で調理した場合、日本人の平均的な米の摂取量では、食事から摂取するアクリルアミドの量に占める炊飯米の割合は高くないことを明らかにした。

アクリルアミド濃度を低減し、かつ食味的にも満足するブラウンルウとして、低温で仕上げた淡い色のルウが望ましいことを明らかにした。また、仕上がりの色ではなく、温度で判断することが望ましく、色以外の官能評価で遜色ない低めの仕上がり温度が約 170℃であることを明らかにした。また、ブラウンルウのモデル調理では、薄力粉を使用した方が強力粉を使用した場合よりもアクリルアミド濃度が少ないこと、緩慢加熱で小麦粉温度が 170～180℃に達した時のアクリルアミド濃度が、標準加熱の場合よりも高くなる傾向を見出した。

家庭における調理品からのアクリルアミド摂取量の低減を目標として、フライドポテト、トーストの調理方法、仕上りの目標について、食味の許される範囲で具体的で実現可能な指標を示せる可能性を示した。また、色差測定の結果から、トーストとフライドポテトの家庭調理におけるアクリルアミド低減には、目指すべき仕上りの表現として、明度を軸とすることが妥当であることを明らかにした。

トーストと冷凍フライドポテトについて、加熱程度の異なる調理品の写真を撮影し、同時にアクリルアミド濃度を分析し、アクリルアミドの低減目標を判断する上で具体的な指標となりうる図を作成するとともに、家庭調理へのリスク管理措置を想定した、アクリルアミド低減勧告のための言葉による調理品の仕上り表現を作成した。

(1) 小課題名「アクリルアミドの生成要因解明と低減調理法提案のためのモデル調理の実施」

1) 平成 22 年度までの研究実績概要

手作りルウを使用したカレーのアクリルアミド低減が可能な範囲を明らかにするため、ブラウンルウ作製のモデル調理を、薄力粉と強力粉を用いて、標準加熱と緩慢加熱の 2 条件で行い、出来上がったブラウンルウの色の測定を行うとともに、これを用いたカレーソースの官能評価を行った。結果として、具なしのカレーソースでは、アクリルアミド濃度に、加熱温度間で有意差が認められたが、嗜好、総合評価において明らかな差はみとめられなかった。さらに、通常のカレーソースに近いレシピで調製したカレーソースにおいて、同様の官能評価を行った結果、薄力粉、170℃、180℃、190℃のブラウンルウで調製したカレーソースに明らかな差は認められなかった。カレーソースの官能評価から、ルウの仕上がり温度を高くしても総合評価の評点が変わらない場合がほとんどであるので、アクリルアミド濃度が高い加熱温度が高いブラウンルウの使用を避け、低温で仕上げた淡い色のルウを使用することが望ましいと考えられた。

家庭において摂取頻度の高いトースト、フライドポテトについて、調理条件と仕上りの状態、およびアクリルアミド濃度について検討を行うためのモデル調理を行った。使用食品、冷凍フライドポテト 1 種、食パン 3 種（官能評価は 2 種）について、仕上りの状態を 4～5 段階の色の基準を目標に試料調製を行った。官能評価の結果

より、フライドポテト（揚げ・焼き）の最適加熱時間は揚げ 3 分（図 1-2-2：「2 ごくうすい揚げ色」に相当）、焼き 20 分、トースト 3 分～3 分 45 秒（図 1-2-1：「2 部分的に軽い焼き色」～「3 全体に焼き色」に相当）であった。トーストの 3 分と 3 分 45 秒では、仕上がりの状態が異なることから、許容範囲、個人の嗜好の差が大きいことが予測された。なお、冷凍ポテトのオーブントースター調理の場合は、加熱時間が長くなるとポテトの先端から焦げてきて焦げムラが生じ、加熱時間に従い全体的に色が濃くなる油揚げの場合とは異なった。

2) 平成 23 年度における研究実績概要

低減調理法の仕上がり程度を消費者に伝達する方法について検討した。家庭調理では調理者が仕上がり状態を五感で判断しているが、「キツネ色」のような仕上がり表現に端的に示されるように、視覚情報が判断に占めるウェイトが高いものと考えられる。人間が感じる色の構成要素として、「色相」、「明度」、「彩度」の 3 つの要素があるが、「キツネ色」等の色表現が提示された場合、情報の受け手は「色相」だけでなく、自らの経験や知識に応じて、これら 3 要素をセットして色をイメージすることができる。そのため、「濃い」、「薄い」、「明るい」、「暗い」などの形容詞を付帯しても、最初に成立した色のイメージが常に不確かさのバイアスとなってしまうため、絶対的な仕上りの程度の情報伝達的手段としては曖昧さを多く含むものである。

一方、これまでのモデル調理の結果から、加熱調理の仕上がりが食べられる範囲内であれば、調理の進行によってアクリルアミド濃度は増加するだけの一方向の変化であることが明らかになっている。そのため、低減調理法として提示すべき情報には、個人で成立している色のイメージの不確かさにできるだけ依存しない方法として、色をイメージしやすい「色相」表現を含まない明暗や濃淡のような示強的な違いとして消費者へ伝達することを検討することとした。

具体的な表現の決定に先立ち、モデル調理によって得られた調理品について、実際の色の変化を色差計の $L^*a^*b^*$ 表色系によって確認した。なお、 $L^*a^*b^*$ 表色系は JIS Z 8729（色の表示方法— $L^*a^*b^*$ 表色系及び $L^*u^*v^*$ 表色系）に規定されており、人間の視覚に近い評価軸として使用されているものである。

トーストについては、明るさの指標である L^* 値が焼き時間の増加とともに減少した。すなわち、焼き時間が長いほど明るさが低下した（図 1-1-1）。一方、色相と彩度の指標である a^* と b^* については焼き時間との単純な相関は認められなかった。

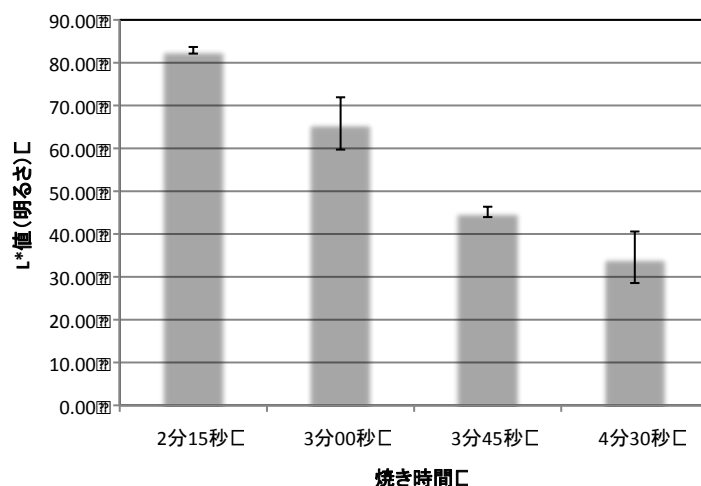


図 1-1-1 トーストの色 (L^*) と焼き時間 (4 反復)。誤差は $\pm$ 標準偏差を示す。

一方、フライドポテトについても、トーストと同様に、揚げ時間の増加とともに明るさの指標である L^* 値の減少が認められ、すなわち、揚げ時間が長いほど明るさが低下した（図 1-1-2）。

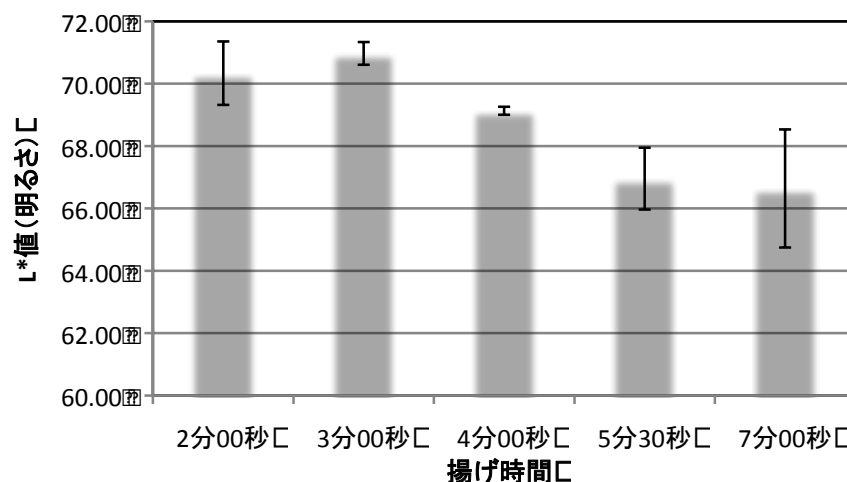


図 1-1-2 3 反復のフライドポテトの揚げ時間と L^* 値。誤差は $\pm$ 標準偏差を示す。

また、色相と彩度の指標である a^* と b^* については、 a^* において揚げ時間の増加に伴う増加が認められた（図 1-1-3）が、 b^* については相関が認められなかった。 a^* はマゼンタ方向の鮮やかさの増加を示しているが、色差計では明確であっても人間の目ではフライドポテトの色成分として明確に識別されていないものである。その理由として、 a^* の絶対値も変化の幅も 10 以下と小さいことに加え、明確な変化を示さない b^* 軸（黄色～青）の「色相」、「彩度」の成分と混合されてしまうためと考えられる。

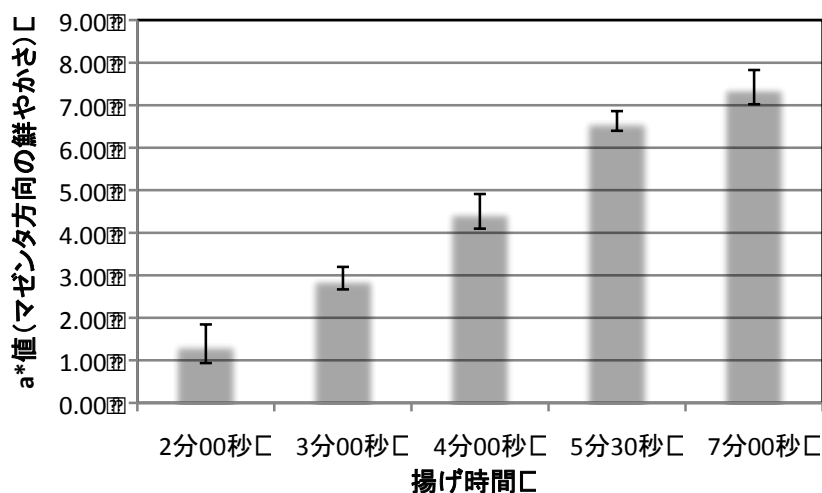


図 1-1-3 3 反復のフライドポテトの揚げ時間と a^* 値。誤差は $\pm$ 標準偏差を示す。

以上の色差計の実測結果から、調理の進行に伴う色の変化として、明度は常に低下すると言える反面、色相、彩度は変化の方向が明確でなく、視覚との相関が明確とは言いがたことが確認された。

3) 成果の内容

1. アクリルアミド濃度を低減し、かつ食味的にも満足できるブラウンルウの調製の

ためには、アクリルアミドの生成量が多くなる高温加熱を避け、低温で仕上げた淡い色のルウとするのが望ましいことを明らかにした。

2. ブラウンルウの仕上がりの判断は色ではなく、温度で判断することが望ましく、色以外の官能評価で遜色ない低めの仕上り温度が約 170 °Cであることを明らかにした。
3. 家庭における調理品からのアクリルアミド摂取量の低減を目標として、フライドポテト、トーストの調理方法、仕上がりの目標について、食味の許される範囲で具体的で実現可能な指標を示せる可能性を示した。
4. 色差測定の結果から、トーストとフライドポテトの家庭調理におけるアクリルアミド低減には、目指すべき仕上りの表現として、明度を軸とすることが妥当であることを明らかにした。

(2) 小課題名「アクリルアミド濃度の分析と生成要因解明および低減調理法の提案」

1) 平成 22 年度までの研究実績概要

各種の米を炊飯してアクリルアミド濃度を測定したところ、日本における一般的な炊飯器で調理した場合、日本人の平均的な米の摂取量では、炊飯米からのアクリルアミド摂取に関しては特に注意を払う必要はないという結果が得られた。

ブラウンルウ作製のモデル調理では、薄力粉を使用した方が強力粉を使用した場合よりもアクリルアミド濃度が低かった。また、同じ条件で熱源の IH 出力を下げた、より長時間の加熱（緩慢加熱）を行うと、小麦粉温度が 170～180 °Cに達した時のアクリルアミド濃度が、標準的な出力と調理時間による加熱（標準加熱）の場合よりも高くなる傾向が見られた。

トーストしたパンについて、どのくらいの焼き加減でアクリルアミドがどのくらいの濃度になるかを知るために、焼き加減を数段階にしたトーストを調製し、アクリルアミド濃度を測定した。その結果、食パンにはトーストする前から低濃度のアクリルアミドが存在し、トーストの度合いにしたがいアクリルアミド濃度が高くなることが示された。女子栄養大によるアンケート調査では、調理段階として好ましいと判定される焼き加減の範囲は、「2 部分的に軽い焼き色」～「3 全体に焼き色」の各段階（図 1-2-1）であった。したがって、家庭調理ではこの範囲で中間的な焼き加減を含む様々な仕上がり状態のトーストが調理されており、それぞれの加熱程度に応じたアクリルアミド濃度となっているものと考えられる。個々の調理者や喫食者にとって受容可能な焼き加減はピンポイントではなく、許容可能な幅を持っていると考えることができれば、調理を行う者へ適切な低減調理の助言を提示して、受容可能な範囲内でアクリルアミド濃度がより低くなる仕上がりを目指してもらうことで低減効果が得られるものと期待された。

冷凍フライドポテトについても同様に予備実験を行うとともに、女子栄養大の調理条件による調理品のアクリルアミド濃度の分析を行ない、それぞれの加熱程度に応じたアクリルアミド濃度の増加が認められた。官能評価の結果は揚げ調理では「2 ごくうすい揚げ色」（図 1-2-2：に相当）が最良であったが、それよりも加熱程度の強い段階も一定の官能点があったことから、トーストと同じく、調理を行う者へ適切な低減調理の助言を提示して、受容可能な範囲内でアクリルアミド濃度がより低くなる仕上がりを目指してもらうことで低減効果が得られるものと期待された。なお、同一メーカー品について行なった予備実験結果と比較して、アクリルアミド濃度の最大値が低い結果となった要因としては、農林水産省における実態調査の知見から、製品のロ

ット間差が考えられた。

2) 平成 23 年度における研究実績概要

昨年度までの予備検討の結果を踏まえ、加熱程度の異なる調理品の写真を撮影してアクリルアミド濃度を分析することで、アクリルアミドの低減目標を判断する上で具体的な指標となりうる図を作成した（図 1-2-1、図 1-2-2）。写真撮影は、光源の色温度を色温度計で実測するとともに、標準反射板を用いて露出を決定し、これらの撮影パラメータを固定して行った。しかし、調理品の反射率が異なると適正露出が異なるため、前後±1/4EV で露出を変えたブラケット撮影を全ての試料について行うとともに、実際の写真使用には、RAW データを RAW 現像ソフトウェアによって目視により適正と思われる露出に補正したものを使用した。また、写真に付帯する文章表現については、小課題（1）の検討結果から明確な色表現は行わないこととし、焼き色や揚げ色の濃さとして示した。

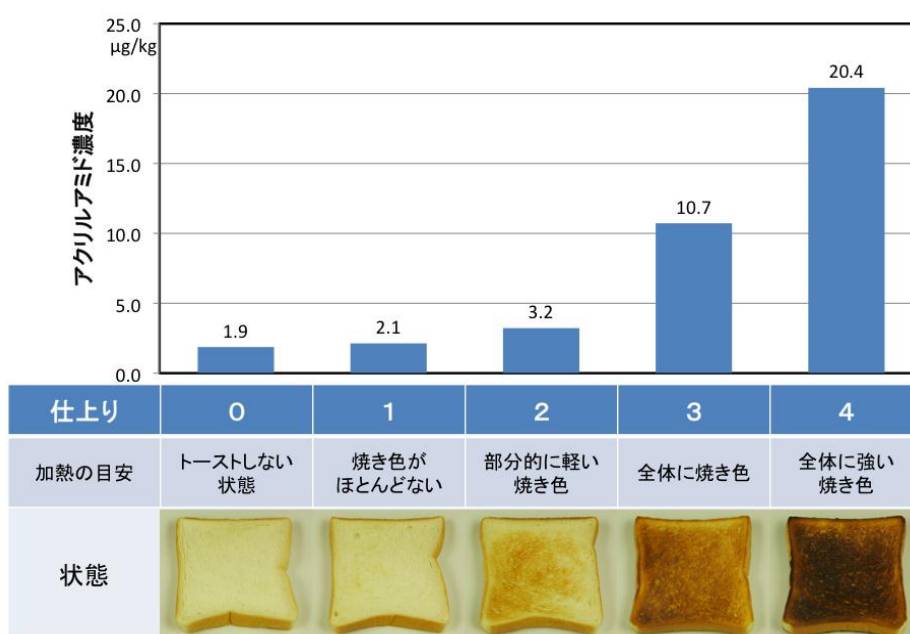


図 1-2-1 トーストの焼き色とアクリルアミド濃度

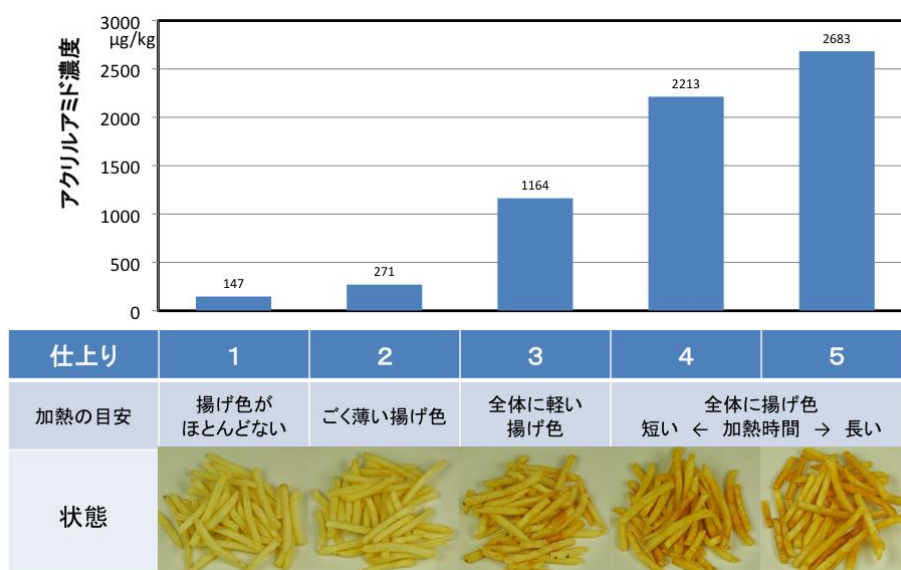


図 1-2-2 フライドポテトの揚げ色とアクリルアミド濃度

次いで、家庭調理で実施可能なアクリルアミド低減対策（調理上の注意）の効果と達成が見込まれるアクリルアミド濃度の低減を明らかにするため、トースト、フライドポテトそれぞれに協力世帯を募り、未調理品を調理指示とともに協力者（集団）へ配布して実態を調べ、調理指示をしたものとアクリルアミド濃度を比較することとした（表 1-2-1）。協力世帯の募集は女子栄養大と食品総合研究所それぞれで行い、学生の世帯（家族と同居、一人暮らし双方を含む）、食品総合研究所は所内勤務者の世帯（契約職員を中心）から行った。各々の品目について、各々の機関で 20 世帯ずつ募り、トースト、フライドポテトそれぞれ計 40 世帯の協力を得た。

表 1-2-1 トーストとフライドポテトの家庭調理実態調査のための指示内容

内容	具体的な指示内容	
	トースト	フライドポテト
普段通りの調理法	・お渡しした食パンで、普段通りにトーストを作ってください。これを 2 回繰り返します。 －（調理のポイント） ・作りやすい分量を使い慣れた調理器具で調理する。 ・バター等を塗ったりしない。 ・2 回の調理品を混ぜない	・お渡しした冷凍フライドポテトの一部を使って、普段通りにフライドポテトを作ってください。これを 2 回繰り返します。 －（調理のポイント） ・作りやすい分量を使い慣れた調理器具で調理する。
・調査・研究目的の開示（有害物質（＝アクリルアミド）の低減指針の作成） ・言葉（文字）による仕上りの指示	・お渡しした食パンで、<u>できるだけ薄い焼き色の仕上がり</u>を目指してトーストを作ってください。これを 2 回繰り返します。 －（調理のポイント） ・いつも薄い焼き色の仕上がりなら、いつも通りで構わない。 ・前回と同じ人が同じ調理器具を使って作りやすい枚数を調理する。 ・バター等を塗ったりしない。 ・2 回の調理品を混ぜない。	・お渡しした冷凍フライドポテトの一部を使って、<u>できるだけ色づかない(薄い色の)仕上がり</u>を目指してフライドポテトを作ってください。これを 2 回繰り返します。 －（調理のポイント） ・普段も色づかない仕上がりなら、いつも通りで構わない。 ・揚げ油が古いと色づきやすいため、逆に加熱不足にならないように気をつける。 ・前回と同じ人が同じ調理器具で作りやすい分量を調理する。 ・2 回の調理品を混ぜない。

トーストのアクリルアミド濃度の分析結果を濃度頻度分布で示したものが図 1-2-3 のグラフである。各世帯で 2 回の調理反復を行っているが、これらはコンポジットとせずに分けて分析し、40 世帯×2 反復の計 80 回の調理における濃度頻度分布として示している。高濃度域に対して長い裾をもつ分布形を示し、最大値 11.2 $\mu\text{g/kg}$ 、最小値 1.3 $\mu\text{g/kg}$ 、平均値 3.27 $\mu\text{g/kg}$ 、中央値 2.65 $\mu\text{g/kg}$ 、標準偏差 1.77 $\mu\text{g/kg}$ であった。

低減指示を行った調理品は、最大値 4.7 $\mu\text{g/kg}$ 、最小値 1.7 $\mu\text{g/kg}$ 、平均値 2.58 $\mu\text{g/kg}$ 、中央値 2.37 $\mu\text{g/kg}$ 、標準偏差 0.71 $\mu\text{g/kg}$ であり、集団として見た時の調理品のアクリルアミド濃度は低下した。

トーストする前の食パンにもアクリルアミドが含まれており、1.5 $\mu\text{g/kg}$ 前後の濃度であった。すなわち、トーストする前の食パンには、調理後のアクリルアミド濃度に対して概ね 10～50%程度の無視できないレベルのアクリルアミドが含まれていることが、1 $\mu\text{g/kg}$ 以下の極低濃度域のトーストがない理由の一つとなっている。

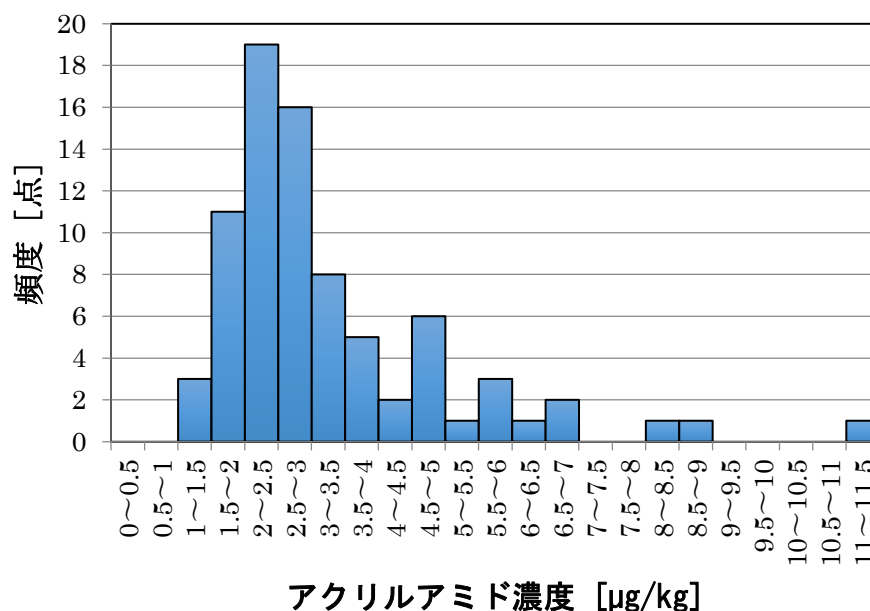


図 1-2-3 家庭調理におけるトーストのアクリルアミド濃度の頻度分布
(各々40世帯の2反復による80点)

フライドポテトについても同様に、図 1-2-5 に濃度頻度分布の結果を示した。トーストと同じく各世帯で2回の調理反復を行っているが、これらはコンポジットとせずに分けて分析し、40世帯×2反復の計80回の調理における濃度頻度分布として示している。高濃度域に対して長い裾をもつ分布形であり、調理品のアクリルアミド濃度は、最大値 1880 μg/kg、最小値 48 μg/kg、平均値 316 μg/kg、中央値 207 μg/kg、標準偏差 309 μg/kg であった。

低減指示を行った調理品は、最大値 805 μg/kg、最小値 46 μg/kg、平均値 127 μg/kg、中央値 81 μg/kg、標準偏差 136 μg/kg であり、集団として見た時の調理品のアクリルアミド濃度は大きく低下した。

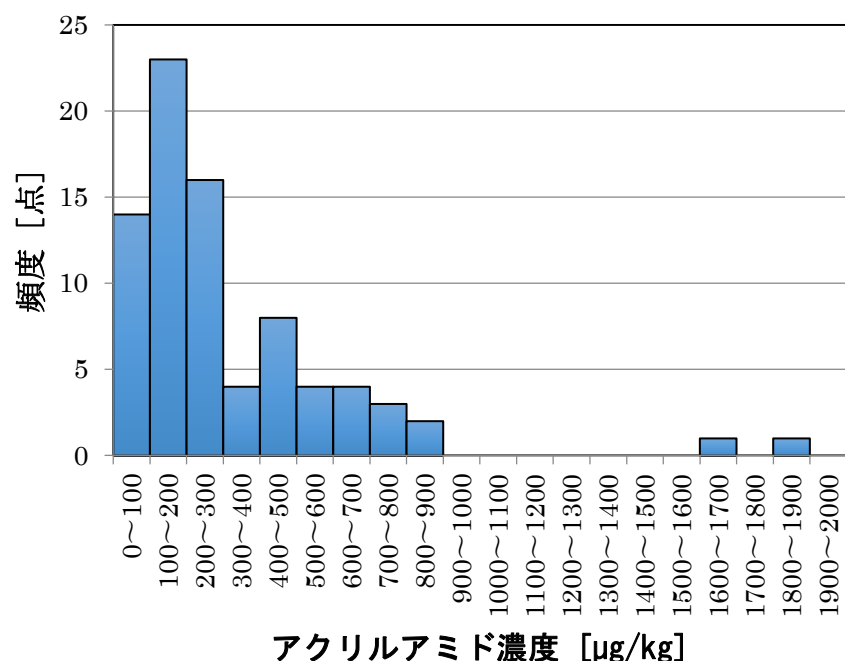


図 1-2-5 家庭調理における冷凍フライドポテト調理品のアクリルアミド濃度の頻度分布
(各々40世帯の2反復による80点)

今回の調査対象となった調理者の性別と年代を図 1-2-7 に示す。性別では女性が圧倒的に多く、また、年代は 20 代から 50 代に分布しており、20 代が最も多かった。なお、女子栄養大と食品総合研究所で募集しているため、それぞれを性質の異なる母集団として層別することも可能だが、頻度分布等の議論と合わせて全体として示した。

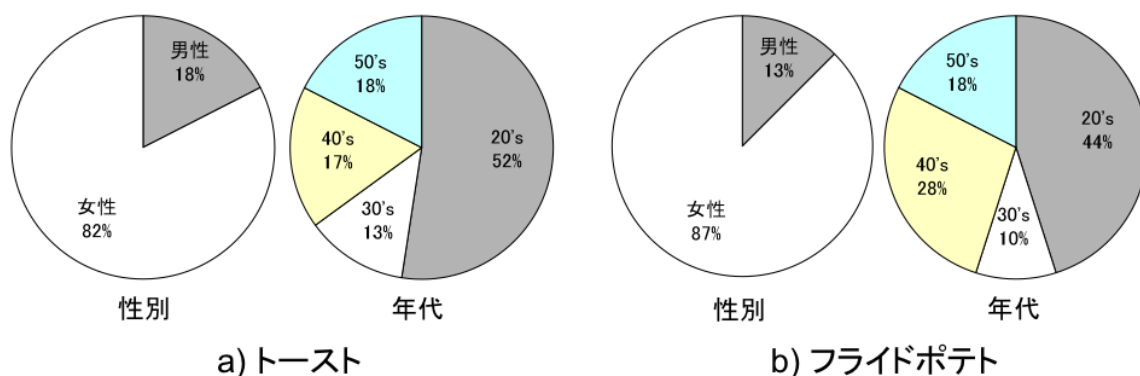


図 1-2-7 調査対象となった(a)トーストと(b)フライドポテトの調理者の性別と年代。

各品目について、女子栄養大と食品総合研究所から 20 名ずつ募集し、計 40 名分の割合を示す。

次に、それぞれの品目について調理担当者が普段の家庭調理で使用している調理器具と仕上りの基準についての回答を示す (図 1-2-8)。トーストの調理法はほとんどの世帯がオーブントースターを使用しており、一部、魚焼きグリルという事例があった。フライドポテトの調理は、油揚げとトースター調理がそれぞれ全体の半数近くを占める一方、フライパンで炒めたり、過熱水蒸気を利用する世帯も見られた。仕上りの基準については、トーストとフライドポテトともに、キツネ色、茶色といった色相を伴

う色表現の他、焼き色の濃さとして示す事例が見られた。普段の調理におけるアクリルアミド濃度範囲が調理者によって大きな幅があるのに対し、仕上りを表現する言葉の多様性は乏しく、言葉による仕上り表現には調理者の経験等による主観的な要素が多く含まれていることが伺われた。

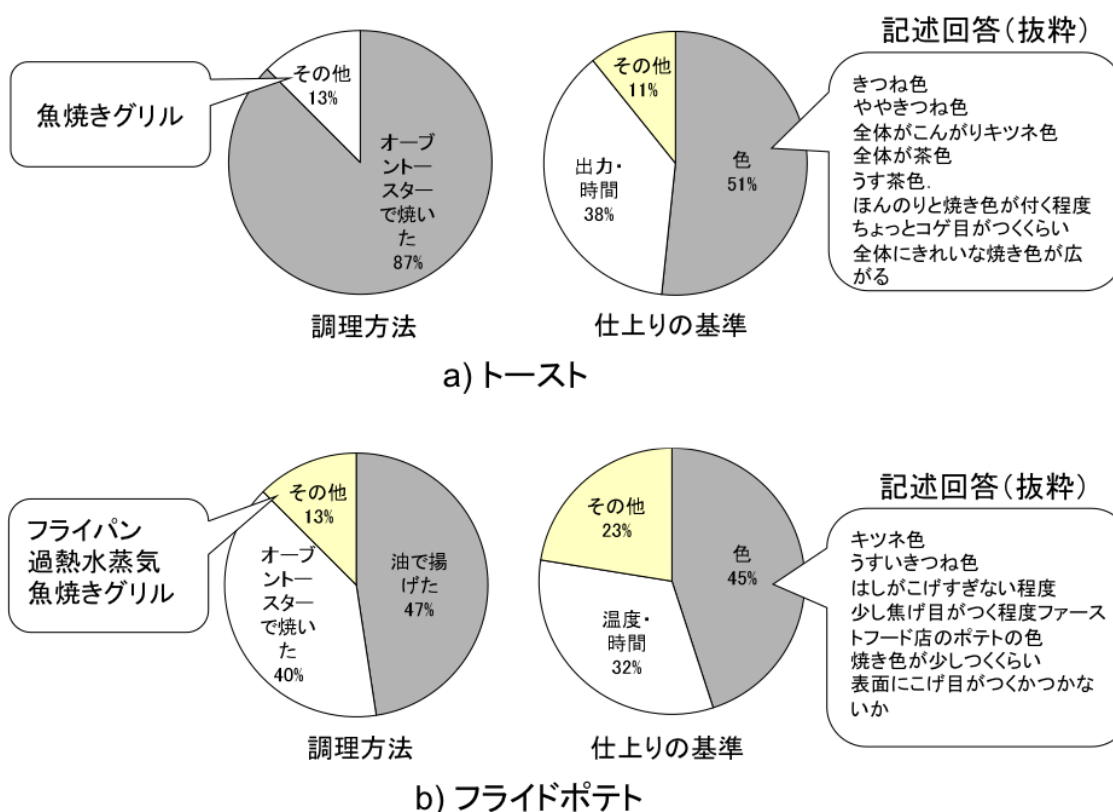


図 1-2-8 (a)トーストと(b)フライドポテトの調理方法(調理器具)と調理担当者が普段の調理で判断する仕上りの基準

3) 成果の内容

1. 各種の米を炊飯してアクリルアミド濃度の分析を行い、日本における一般的な炊飯器での調理と日本人の平均的な米の摂取量では、炊飯米のアクリルアミド摂取源としての寄与の割合は高くないことを明らかにした。
2. ブラウンルウのモデル調理では、薄力粉を使用した方が強力粉を使用した場合よりもアクリルアミド濃度が低いことを明らかにした。
3. ブラウンルウの調理の際、緩慢加熱を行うことで、小麦粉温度が 170~180 °C に達した時のアクリルアミド濃度が、標準加熱の場合よりも高くなる傾向を見出した。
4. トーストと冷凍フライドポテトについて、加熱程度の異なる調理品の写真を撮影し、同時にアクリルアミド濃度を分析することで、アクリルアミドの低減目標を判断する上で具体的な指標となりうる図を作成した。
5. トーストと冷凍フライドポテトについて、家庭調理へのリスク管理措置を想定した、アクリルアミド低減調理の勧告のための言葉による調理品の仕上り表現を作成した。
 - ・ できるだけ薄い焼き色の仕上がりを目指してトーストを作ってください
 - ・ できるだけ色づかない(薄い色の)仕上がりを目指してフライドポテトを作ってください。
6. トーストと冷凍フライドポテトについて、各品目 40 世帯について調理品のアクリルアミド濃度の頻度分布を確認した。

2. 中課題名「ほうじ茶及び麦茶に含まれるアクリルアミドの生成要因解明と低減技術の開発」

麦茶、ほうじ茶ともに、製造後貯蔵することでアクリルアミド濃度は減少した。1 年程度の貯蔵では麦茶の変質は認められなかったものの、ほうじ茶は一部 8 ヶ月後に変質が認められた。変質を改善するため、茶問屋にて火入れが行われることもあるが、火入れによってアクリルアミド濃度は増加しなかった。麦茶のアクリルアミドの低減には、焙煎の指標である炒り麦の L*値を低くすることが有効であった。また、製造後の貯蔵期間や浸出方法が、アクリルアミド濃度に大きく影響することを明らかにした。ほうじ茶では、焙煎時間が長いほどアクリルアミド濃度は低く、実用の焙煎機を用いて、同じ原料から製造してもアクリルアミド濃度が半分以下のほうじ茶を製造できることを明らかにし、目標を達成した。

(1) 小課題名「市販麦茶のアクリルアミド含量の実態把握」

1) 平成 22 年度までの研究実績概要

マーケットシェア（販売高）約 70%を占める企業に加え、全国麦茶工業協同組合へのヒアリングにより明らかになった主な製造業者から販売されている麦茶商品（計 47 点）のアクリルアミド濃度の実態を把握した。

その結果、最小値 0.05 mg/kg、最大値 0.41 mg/kg、中央値 0.24 mg/kg、標準偏差 0.08 mg/kg、平均値 0.24 mg/kg であった。季節変動およびロット間差を把握するため、POS データからシェアが大きい特定メーカーの商品を平成 21 年 8 月から 2 ヶ月ごとに平成 22 年 6 月までサンプリングし、アクリルアミド濃度を分析したところ、商品によってアクリルアミド濃度の最大値と最小値は大きく異なり、例えば商品 A の最大値は 0.39 mg/kg、最小値 0.14 mg/kg であったが、商品 B では最大値 0.18 mg/kg、最小値 0.12 mg/kg であった。また、実態調査結果を元に、アクリルアミド濃度が低い商品と高い商品、並びに原料別および焙煎方法別にアクリルアミド濃度が低い商品と高い商品を選出し、ロット間差を調査したところ、商品によってロット間差は大きく異なり、最大相対標準偏差（RSD）は 47%、最小 RSD は 8%であった。

麦茶のアクリルアミド浸出特性について調査した。商品の包装資材に記載されている方法を参考に浸出液を得た。浸出率は用いた炒麦に含まれるアクリルアミド濃度、浸出液中の濃度、浸出液量から算出した。ティーバッグ形態の麦茶（商品 C）を用いた実験では、水出しで 80%、湯出しで 90%の浸出率であった。ティーバッグ丸粒形態の麦茶（商品 D）を 5 分煮出し後 60 分置いて浸出液を得ると、アクリルアミドの浸出率は 65%程度であった。一方で、丸粒形態の麦茶（商品 E 3 分煮出し後、30 分置く。）のアクリルアミド浸出率は 81%であった。丸粒形態の麦茶（商品 E）及びティーバッグ形態の丸粒麦茶（商品 D）について、煮出し時間と浸出時間を変えて実験を行ったところ、煮出し時間を長くするほど、また浸出時間を長くするほどアクリルアミドの浸出率は高くなった。

2) 平成 23 年度における研究実績概要

麦茶の貯蔵によるアクリルアミド濃度の変動を把握するため、平成 22 年 11 月から実験を開始した。材料は①丸粒とティーバッグ形態の違いを把握するため、焙煎方法（砂釜焙煎）、原料（カシマムギ）、調製日（2010 年 7 月 27 日）および賞味期限（2012 年 9 月）が同じ丸粒とティーバッグの商品を購入した。また、ティーバッグ麦茶では、②袋を開封後アクリルアミド濃度の変動するかについて把握するため、POS データか

ら最も販売量が多いティーバッグ商品（商品 C 賞味期限 2011.8.1）を、③丸粒麦茶のアクリルアミド濃度の変動を把握するため、POS データから販売量が多い商品（商品 E）を購入し、実験に用いた。①丸粒とティーバッグ形態の麦茶について、アクリルアミド濃度の均一性を確認するため、貯蔵開始時に袋間差と袋内差を求めた。その結果、丸粒麦茶のアクリルアミド濃度の平均は 0.15 mg/kg で、RSD は袋内で 3%、袋間で 4%であった。ティーバッグ麦茶のアクリルアミド濃度は平均 0.16 mg/kg で、RSD は袋内で 3%、袋間で 4%であった。②10 袋をランダムに取り出し、貯蔵開始時にティーバッグ間差を確認したところ、平均アクリルアミド濃度 0.26 mg/kg、RSD4%であった。③丸粒麦茶は 6 袋をランダムに抽出し、1 袋を 2 つに分け、袋間差と袋内差を調査したところ、平均アクリルアミド濃度 0.21 mg/kg、袋内 RSD が 3%、袋間 RSD が 9%であった。麦茶は日光を遮った状態で居室内に貯蔵し、空調は 9 時から 18 時まで、室温 25 ℃に設定した。②については、袋を開封後輪ゴムで縛って保管した。貯蔵中にアクリルアミド濃度を分析するため、①と③では 3 袋をランダムに取り出し、1 袋を 2 つに分け粉碎・抽出し、6 点（3 袋×2）の平均値と袋内・袋間差を RSD として求めた。また②では、貯蔵開始時に 3 袋開封し、貯蔵中、各袋からティーバッグ 3 つをランダムに取り出して粉碎・抽出し、9 点（3 袋×3 個のティーバッグ）のアクリルアミド濃度の平均値と袋間およびティーバッグ間差を RSD として求めた。なお、試料調製日から分析までは 8 日以内であり、その間にサンプルは冷凍して保存した。

①の結果、貯蔵開始時から 136 日目（2011/3/24）までアクリルアミド濃度は貯蔵開始時と有意な差はなく、310 日目（2011/9/14）に貯蔵開始時の約 6 割まで減少した（表 2-1-1）。②の結果、アクリルアミド濃度は 164 日目（2011/4/20）まで貯蔵開始時と有意な差はなかったが、257 日目（2011/7/22）には貯蔵開始時の約 7 割まで減少した（表 2-1-2）。③の結果、丸粒商品のアクリルアミド濃度は 137 日目（2011/3/24）まで変化しなかったが、311 日目（2011/9/14）には約 6 割まで減少した（表 2-1-3）。このように、ある程度の期間を過ぎると、麦茶のアクリルアミド濃度は減少することが示された。麦茶の賞味期限は 1 年から 2 年とされており、本実験のような 1 年程度の貯蔵実験では、麦茶の色や風味に大きな変化は感じられなかった。

表2-1-1 ①製造履歴が同じ丸粒とティーバッグ麦茶のアクリルアミド変動

			分析のための試料調製日			
			2010/11/9	2011/3/24	2011/9/14	2011/3予定
丸粒	アクリルアミド	mg/kg	0.15	0.16	0.09	
ティーバッグ	アクリルアミド	mg/kg	0.16	0.16	0.10	
丸粒	袋間差	RSD %	4.1	4.6	<0.0	
	袋内差		2.6	2.6	<0.0	
ティーバッグ	袋間差	RSD %	3.7	2.5	4.0	
	袋内差		3.1	2.5	5.6	

表2-1-2 ②ティーバッグ麦茶の開封後のアクリルアミド変動

		分析のための試料調製日			
		2010/11/8	2011/1/17	2011/4/20	2011/7/22
アクリルアミド	mg/kg	0.25	0.25	0.24	0.17
袋間差	RSD %	7.3	2.7	3.7	3.8
ティーバッグ間差	RSD %	3.7	3.6	2.0	4.3

表2-1-3 ③丸粒麦茶のアクリルアミド変動

		分析のための試料調製日			
		2010/11/8	2011/3/24	2011/9/14	2011/3予定
アクリルアミド	mg/kg	0.21	0.21	0.13	
袋間差	RSD %	8.5	5.2	6.4	
袋内差	RSD %	3.0	5.9	5.5	

麦茶を製造販売している業者への聞き取り調査は、特定の商品の履歴を詳細に調べるのではなく、製造の実態を全体的に把握することを目的として行った。麦茶の焙煎には熱風焙煎と釜焙煎があり、熱風焙煎は近年取り入れた新しい方法であること、熱風焙煎は砂を使用しないため顧客により好まれる傾向があること、焙煎の指標は炒り麦粉碎物の L*値であり、顧客の要望に応じた L*値となるように仕上げていること、原料麦は同じ品種でも地域や年度でタンパク含量や加工適性が異なり、タンパク含量が多すぎると加工適性が低下することが明らかになった。

3) 成果の内容

1. 市販されている麦茶商品のアクリルアミド濃度の実態調査の結果、平均値 0.24 mg/kg、標準偏差 0.08 mg/kg、ロット間差は最大で RSD が 47%、最小で RSD が 8%であった。
2. 包装資材に記載されている方法で麦茶を浸出させたところ、ティーバッグ形態の麦茶は水出しで 80%、湯出しで 90%、ティーバッグ丸粒形態の麦茶は 65%、丸粒形態の麦茶は 81%のアクリルアミド浸出率であった。
3. 麦茶は包装後、ある程度の期間を過ぎるとアクリルアミド濃度が減少し始めた。

(2) 小課題名「麦茶のアクリルアミド低減法の開発」

1) 平成 22 年度までの研究実績概要

焙煎条件が炒麦中のアクリルアミドの生成に及ぼす影響を熱風焙煎としてガスクロマトグラフの恒温槽、釜焙煎としてドラム回転式焙煎機を用いて把握した。原料麦は六条大麦として品種「カシマムギ」、外麦の「レガシー」を、二条麦として品種「スカイゴールド」を用いた。その結果、熱風焙煎実験では、熱風温度 200 から 220 ℃の焙煎時にアクリルアミド濃度が最も高くなることがわかった。この条件下における炒麦の L*値は 40 から 60 付近であり、製品の L*値範囲（最大 43.9、最小 24.2、平均 34.3、標準偏差 4.5）と大きく異なった。熱風焙煎において熱風温度 220℃、釜焙煎において麦表面温度 220℃以上では、温度が高いほど、また焙煎時間が長いほどアクリルアミド濃度は低く、焙煎の指標である L*値は小さくなった。焙煎後の冷却方法によるアクリルアミド濃度の変動を調べたところ、液体窒素冷却と自然冷却において有意な差は認められなかった。六条大麦 12 種類、二条大麦 9 種類を入手し、原料麦のアスパラギンと還元糖、炒麦のアクリルアミド濃度と L*、a*、b*値を調べたところ、原料麦のアスパラギン濃度が炒麦のアクリルアミド濃度と相関があることを示す有力な結果が得られつつある。

2) 平成 23 年度における研究実績概要

①釜焙煎において麦表面温度を指標にしながら炒り麦を取り出し、焙煎の指標である L*値とアクリルアミド濃度の関係について明らかにした。さらに、平成 21 年度から取得してきた熱風焙煎と①の釜焙煎データ（六条麦熱風焙煎 30 点、六条麦釜焙煎

12 点、二条麦熱風焙煎 16 点、二条麦釜焙煎 11 点) を用いて、②アクリルアミド濃度が最大を示す炒り麦のデータを抽出し、原料麦のアスパラギン濃度、還元糖濃度、炒り麦の L^* 、 a^* 、 b^* 値とアクリルアミド濃度の関係について解析した。さらに、③小課題 1 で明らかになった麦茶の L^* 値の範囲 ($24.2 < L^* < 43.9$) に収まる炒り麦のデータを抽出し、同様に解析した (六条麦熱風焙煎 70 点、六条麦釜焙煎 62 点、二条麦熱風焙煎 38 点、二条麦釜焙煎 41 点)

- ① 釜焙煎で麦表面温度 180 °C、200 °C、220 °C、230 °C、235 °C、240 °C、245 °C、250 °C となった時点で炒麦を焙煎機から取り出し、焙煎の指標である L^* 値とアクリルアミド濃度の関係を調べた。なお、六条麦では麦表面温度 235 °C 以上で、二条麦では 240 °C 以上で深く焙煎することで、炒麦の L^* 値は麦茶の L^* 値範囲 ($24.2 < L^* < 43.9$) に収まった。炒り麦は焙煎が進むにつれ L^* 値が低くなり、麦茶の L^* 値の範囲 ($24.2 < L^* < 43.9$) では、 L^* 値が低くなるほどアクリルアミド濃度は減少した (図 2-2-1)。本実験において、炒麦の L^* 値が 30 から 45 の範囲では、麦茶の風味が認められたが、炒り麦の L^* 値が 30 を下回ると、麦茶は焦げた香りが強くなった。

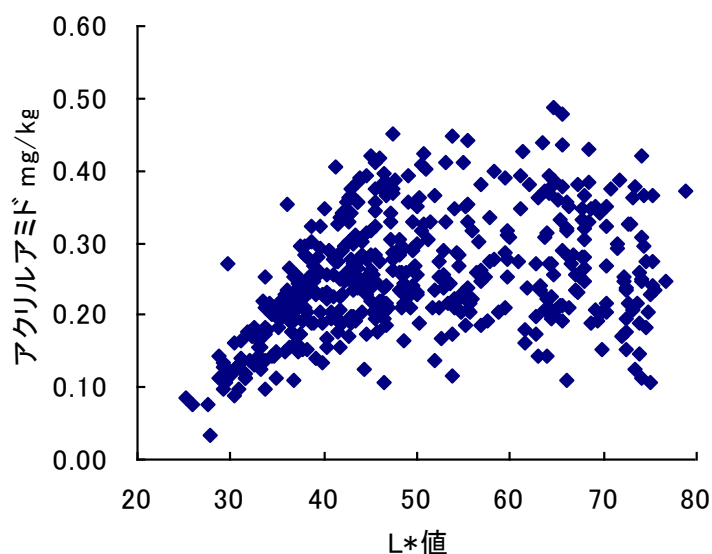


図 2-2-1 釜焙煎実験における炒り麦の L^* 値とアクリルアミド濃度

- ② 原料麦のアスパラギン濃度、還元糖濃度と、焙煎後の炒り麦の L^* 、 a^* 、 b^* 値とアクリルアミド濃度の関係について解析した。炒り麦のデータはアクリルアミド濃度が最大となった焙煎条件のものを用いた。アクリルアミド濃度を目的変数、原料麦のアスパラギン濃度、還元糖濃度、炒り麦の L^* 、 a^* 、 b^* 値を説明変数として重回帰分析したところ、いずれの説明変数も相関係数は低く (< 0.33)、目的変数に対する影響度を示す F 値はアスパラギン濃度が最も高かった。そこで、アスパラギン濃度とアクリルアミド濃度の関係を図 2-2-2 に示した。釜焙煎の六条麦でアクリルアミド濃度とアスパラギン濃度の相関係数は 0.50、熱風焙煎の六条麦で 0.45、釜焙煎の二条麦で 0.78、熱風焙煎の二条麦で 0.12 であり、熱風焙煎の二条麦を除きアスパラギン濃度とアクリルアミド濃度の間には弱い相関が認められた。ただし、アクリルアミド濃度が最大を示す炒り麦の L^* 値 (40.4~74.3) は麦茶製品の L^* 値 (最大 43.9、最小 24.2、平均 34.3、標準偏差 4.5) より高く、

色は麦茶より明るかった。

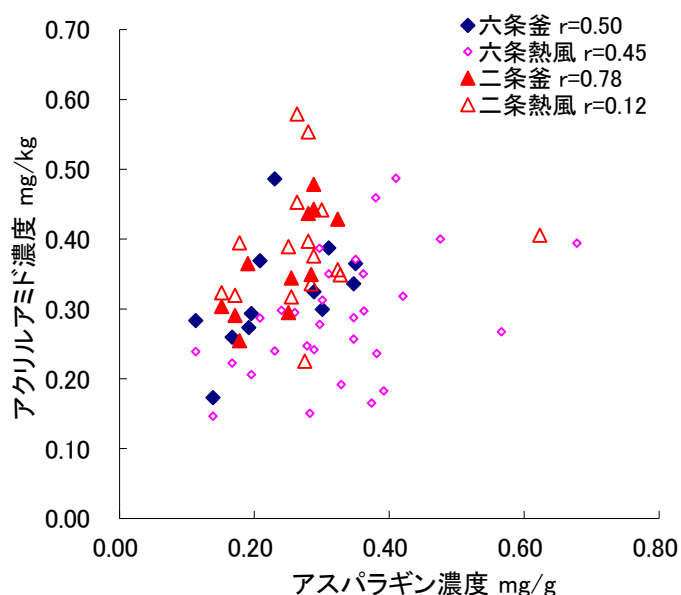


図 2-2-2 炒り麦のアクリルアミド濃度が最大付近の焙煎における原料麦のアスパラギン濃度との関係

③ 小課題 1 で明らかになった麦茶の L^* 値の範囲 ($24.2 < L^* < 43.9$) に収まる炒り麦のデータを抽出し、アクリルアミド濃度を目的変数、原料麦のアスパラギン濃度、還元糖濃度、炒り麦の L^* 、 a^* 、 b^* 値を説明変数として重回帰分析したところ、 L^* 値、 b^* 値とアクリルアミドの相関係数はそれぞれ 0.49 と 0.67 で、弱い相関が認められ、F 値は 31、133 (アスパラギン濃度の F 値は 22) と、用いた説明変数の中で両者は高かった。なお、 L^* 値と b^* 値は 0.86 の相関係数で内部相関が認められた。 L^* 値は焙煎の指標であるため、 L^* 値とアクリルアミド濃度の関係を図 2-2-3 に示した。アクリルアミド濃度と L^* 値の相関係数は、釜焙煎の六条麦で 0.61、熱風焙煎の六条麦で 0.51、釜焙煎の二条麦で 0.74、熱風焙煎の二条麦で 0.06 であり、二条麦の熱風焙煎を除き、 L^* 値とアクリルアミド濃度には相関が認められた。また図から、同程度の L^* 値において、熱風焙煎された二条麦は釜焙煎や熱風焙煎の六条麦よりアクリルアミド濃度が高いことがわかる。図 2-2-3 から、 L^* 値とアクリルアミドの関係を示す直線回帰の傾き (slope) を求めたところ、釜焙煎の六条麦の slope は 0.014、二条麦 0.016、熱風焙煎の六条麦の slope は 0.010、二条麦 0.003 であり、釜焙煎の方が slope は大きかった。

以上から、焙煎の指標である炒り麦の L^* 値とアクリルアミド濃度には相関があるが、熱風焙煎の二条麦では同程度の L^* 値でも釜焙煎や熱風焙煎の六条麦よりアクリルアミド濃度が高い場合があることや、原料麦や焙煎方法によって L^* 値とアクリルアミド濃度の関係は異なることが明らかとなった。

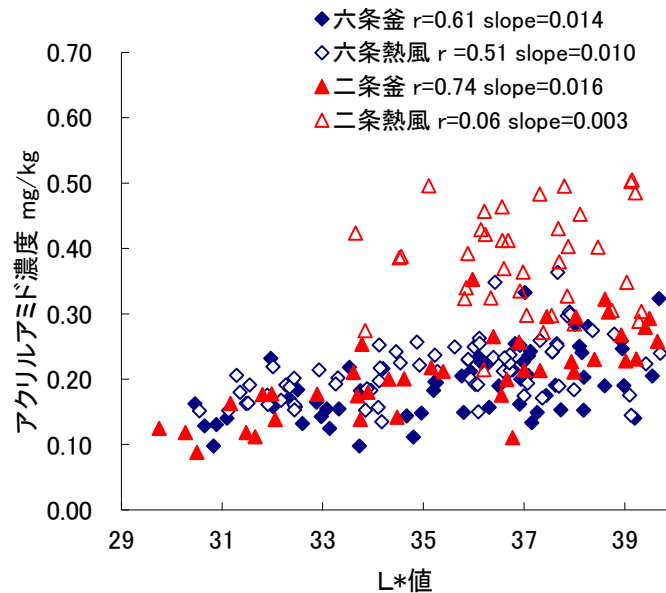


図 2-2-3 製品付近の焙煎における L*値とアクリルアミド濃度の関係

3) 成果の内容

1. 焙煎の指標である炒り麦の L*値とアクリルアミド濃度には相関があり、L*値が低いとアクリルアミド濃度も低い。ただし、熱風焙煎の二条麦では同程度の L*値でも釜焙煎や熱風焙煎の六条麦よりアクリルアミド濃度は高い。
2. アクリルアミド濃度と L*値の関係を示す直線回帰の傾きは原料麦や焙煎方法によって異なる。
3. 以上の結果から、麦茶中のアクリルアミド濃度の低減には、焙煎の指標である炒り麦の L*値を低くすることが有効である。ただし、熱風焙煎の二条麦のように同程度の L*値でもアクリルアミド濃度が高い場合もある。

(3) 小課題名「遠赤外線焙煎機を用いたアクリルアミド低減ほうじ茶の製造」

1) 平成 22 年度までの研究実績概要

棒（てん茶棒と棒（白折）の 2 種類）、刈番茶（一番茶）、秋冬番茶を用いてドラム回転式焙煎機でほうじ茶を製造したところ、低温焙煎（温度 140℃～180℃）のほうじ茶は高温焙煎（温度 180℃）のほうじ茶よりアクリルアミド濃度が低かった。なお、この低温焙煎ほうじ茶も高温焙煎ほうじ茶と同様に、官能評価の結果によれば、いずれもほうじ茶として流通できるものであった。次の段階として、茶葉温度を 140℃、160℃、180℃付近に制御し、各焙煎段階における茶葉中のアクリルアミド濃度を分析した。いずれの原葉においても同じ焙煎機で温度 160℃、180℃で製造したほうじ茶のアクリルアミド濃度と茶師が焙煎したほうじ茶のアクリルアミド濃度は大差なかった。一方で、茶葉の取り出し温度が同じでも焙煎時間が長ければほうじ茶のアクリルアミド濃度は低くなることがわかった。

棒（てん茶棒と棒（白折）の 2 種類）、刈番茶、秋冬番茶を原料として用い、焙煎後の冷却処理によるアクリルアミド濃度の変動を調査したところ、自然冷却と液体窒素冷却でアクリルアミド濃度に有意な差は認められなかった。

アクリルアミドの浸出特性について調査したところ、市販のティーバッグ製品では、水出しで長く浸出させた方が、湯出しで短く出すよりアクリルアミドの浸出率は

高かった。一方、リーフを熱湯で浸出させたところ、茎を多く含む棒、てん茶棒ほうじ（てん茶棒および棒ほうじの葉割合は 1%以内）よりも、葉を多く含む刈番茶、秋冬番茶ほうじ（刈番ほうじの葉割合 75%、秋冬番の葉割合 85%）の方がアクリルアミドの浸出率が高かった。

2) 平成 23 年度における研究実績概要

昨年度と同様にドラム回転式焙煎機と振動式火入機で焙煎実験を行った。吉田園ドラム回転式焙煎機の実験において、ドラム回転数はインバーターを 50 Hz に、供給ガス圧は茶温を放射温度計でモニタリングしながら調整した。昨年度と同様に、茶葉温度 140 °C、160 °C、180 °Cとして実験した。野茶研ドラム焙煎では、焙煎時間を変えるため、投入時の釜内温度を 100 °C、180 °C、220 °Cにして、ほうじ茶を製造した。ドラム回転数はインバーターを 50 Hz に、風量はインバーターを 20 Hz、取り出し時のみ 60 Hz に設定した。なお火力は常に最大とした。振動式火入機では、棚の振動数を変えることで焙煎時間を 3 段階に設定した。最も短時間の焙煎において、棚の振動数を制御するインバーターを 51 Hz に、中程度の焙煎では 44 Hz、最も長い焙煎では 38 Hz（てん茶棒の場合のみ 41 Hz）に設定し、仕上がりが同じになるようガス圧と投入量を設定し、製造した。吉田園ドラム回転式焙煎実験では、いずれの原葉においても温度 140 °Cの条件ではほうじ茶を製造できず、温度 160 °Cと 180 °Cの焙煎でほうじ茶になった。この時のほうじ茶のアクリルアミド濃度は、いずれの原葉においても同じ焙煎機で茶師が製造したほうじ茶のアクリルアミド濃度と大差なかった。振動火入焙煎と野茶研ドラム焙煎において、いずれの原葉においても焙煎時間を長くすることでアクリルアミド濃度を抑えたほうじ茶が製造できた。この傾向は昨年度と同様であった。また、いずれの原葉を用いても焙煎時間を長くすることで、同じ原料でも短時間焙煎品に比べてアクリルアミド濃度が半分以下のほうじ茶を製造できることもわかった。

表 2-3-1 に、茶師間差を示した。茶師は 2 人で、それぞれの条件について 3 回繰り返し焙煎し、その茶試料のアクリルアミド濃度を求め、分散分析から RSD を求めた。その結果 RSD は、ドラム回転式焙煎機では 0.9%から 21.7%、振動式火入機では 0.3%から 19.7%であった。データ数の不足が懸念されるが、一日でできる試験回数も限られているため、これ以上焙煎回数を増やすことはできなかった。表 2-3-2 には平成 21 年から平成 23 年の 3 年間に於いて、用いた原料に含まれるアスパラギン濃度と、同じ種類の原料で同じ条件で焙煎されたほうじ茶に含まれるアクリルアミド濃度を示した。その結果、同じ種類の原料でもアスパラギン濃度は 1.6 倍から 18 倍も異なり、RSD は 31%から 116%であった。アスパラギンについて品種間差を示した報告はないが、アスパラギン以外のアミノ酸では緑茶用の品種間で濃度が 10 倍以上も異なることはなく（日作紀, 75(4), 511-517）、生葉を摘採後製造まで保管するとアスパラギン濃度は温度 10 °Cの低温で 1 日貯蔵しても 8.5 倍に、25 °C以上で 2 日貯蔵すると約 80 倍に増加する（茶研報, 100（別）, 152-153, 2005）ことから、同じ原料におけるアスパラギン濃度の差は主に摘採・製造履歴の影響によるものと考えられた。表 2-3-2 を見ると、アスパラギン濃度が高いほど生成するアクリルアミド濃度は高い傾向があり、年次変動を見ると、RSD は最小で 19%、最大で 51%であった。

表2-3-1 焙煎におけるアクリルアミド生成の茶師間差, RSD%

	振動火入機			回転ドラム	野茶回転ドラム		
	遅	中	早		遅	中	早
一刈	19.7	0.3	8.2	1.6	10.8	21.4	12.9
秋番	1.8	7.7	19.5	21.7	12.4	8.5	1.6
棒(白折)	5.0	14.0	10.5	4.5	15.7	5.1	0.9
てん棒	6.9	15.8	0.8	14.9	13.5	2.6	6.9

表2-3-2 原料茶のアスパラギン、ほうじ茶に含まれるアクリルアミドのロット間差

原料	年度	原料茶のアスパラギン			振動式火入機で焙煎した ほうじ茶アクリルアミド			ドラム回転式で焙煎した ほうじ茶アクリルアミド		
		平均	RSD		平均	RSD		平均	RSD	
		mg/g	mg/g	%	mg/g	mg/g	%	mg/g	mg/g	%
秋冬番	2009	0.05			0.17			0.11		
	2010	0.05	0.06	31	0.23	0.22	19	0.15	0.16	29
	2011	0.08			0.26			0.21		
一番茶刈番	2009	0.22			0.41			0.26		
	2010	0.05	0.40	116	0.22	2.79	51	0.14	0.28	46
	2011	0.93			0.74			0.44		
棒(白折)	2009									
	2010	0.27	0.73	88	0.93	1.36	35	0.66	0.79	22
	2011	1.18			1.80			0.91		
てん茶棒	2009	2.21			1.91			1.47		
	2010	1.25	1.82	28	3.58	2.79	27	2.26	1.78	20
	2011	1.99			2.88			1.62		

一番茶刈番、棒の2種類について、貯蔵中のアクリルアミド濃度の変動を調査した。包装資材はアルミ袋（素材構成 PET12/PE20/AL6.5/PE20/Ny15/PE20/LL30）、アルミ蒸着袋（素材構成 PET12/PE15/MLPET12/PE15/LL50、中が見えるプラスチック製包装資材（素材構成 PET16/PE15/TAF50）の3種類であり、大気で、また窒素置換後シールした。アクリルアミド濃度の均一性を確認するため、ランダムに10袋を抽出し、一袋100gを2つに分け、全量粉碎し分析して袋間と袋内差を求めた。その結果、刈番茶においてアクリルアミド濃度の袋内差はRSDで6%、袋間差は10%であった。また棒ほうじ茶において、アクリルアミド濃度の袋内差はRSDで3%、袋間差は6%であった。貯蔵は2010年11月5日から2011年8月5日まで温度25℃の恒温庫、その後11月5日まで室温25℃に設定された室内で行った。貯蔵開始から2ヶ月ごとにそれぞれの条件区から3袋ランダムに取り出し、各袋を2つに分けて粉碎し、アクリルアミド濃度を分析した。

棒ほうじ、一番茶刈番ほうじともに貯蔵4ヶ月までアクリルアミド濃度の変動は認められなかったが、貯蔵6ヶ月から貯蔵開始時に比べ減少した。貯蔵6ヶ月後以降アルミ袋とアルミ蒸着袋でアクリルアミド濃度に大きな差は認められなかった。一方、中が見えるプラスチック製の包装資材でほうじ茶を包装すると、他の袋で包装されたほうじ茶よりアクリルアミド濃度の減少が大きかった。なお、窒素置換後温度-30℃で貯蔵したほうじ茶のアクリルアミドを貯蔵6ヶ月と12ヶ月後に分析したが、貯蔵開始時と有意な差は認められなかった。中が見える包装資材では、大気、窒素置換包装に関係なく貯蔵8ヶ月後に変質が認められた。また、アルミ袋とアルミ蒸着袋において、大気包装では貯蔵10ヶ月後に変質が認められたが、窒素包装では12ヶ月後まで変質しなかった。なお、変質を改善するため、茶間屋では火入れが行われるが、火入れでアクリルアミド濃度は増えなかった。

3) 成果の内容

1. いずれの原葉を用いても焙煎時間を長くすることで、同じ原料でも短時間焙煎品に比べてアクリルアミド濃度が半分以下のほうじ茶を製造できる。
2. ほうじ茶を製造後、温度 25 ℃で保管すると 6 ヶ月後以降アクリルアミドは減少する。

3. 中課題名「市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリングと変動要因の解析」

本モニタリングは、平成 18～20 年度の先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（20 年度は新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業）の課題「日本におけるアクリルアミドの経口摂取量評価に関する調査研究」の中で 2006 年 8 月に開始され、2010 年 6 月で丸 4 年のデータが得られた。この中で、2008 年 6 月までの 2 年間は、ポテトチップスのアクリルアミド濃度は、新ばれいしょが加工にまわる 8 月に最低値をとり、その新ばれいしょを長期貯蔵した後に加工する翌年 2～6 月頃に高くなるという季節変動が認められていた。しかし、2008 年 8 月以降は、我が国における市場シェア 1 位の社の主要製品のアクリルアミド濃度の季節変動が抑制され、また 2009 年 8 月以降はシェア 2 位の社の主要製品についても同様に 1.3 mg/kg 以下に抑えられていることが確認された。

農林水産省の競争的資金による 2 つの研究事業を通して 4 年間のモニタリングを継続することができたため、当初期待した季節変動だけでなく、2008 年 8 月以降は、メーカーによるアクリルアミド低減対策の実際の効果と推測できる変動を検出することができ、本中課題で行った製品の買い取りサンプリングが、モニタリングの目的に合った適切なものであったことを証明できた。本モニタリングにより、アクリルアミドの経口摂取源として重要なポテトチップスに関して、日本の代表的市販製品中のアクリルアミド濃度変動に関する情報を行政部局に提供でき、本中課題で得たデータはレギュラトリーサイエンスの視点から有意義なものであったと言える。

（1）小課題名「市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリング」

1）平成 22 年度までの研究実績概要

日本におけるポテトチップスの販売量の上位 2 メーカーの代表的商品 2 サンプル（賞味期限の異なるもの）を、札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡の 6 都市で、偶数月に店頭で買い取りサンプリングを行った。ポテトチップスを水抽出後、ヘキサンで油分を除き、固相抽出で精製し、キサントヒドロール誘導体化して、GC-MS でアクリルアミド濃度の分析を行った。定量の内標準物質には、重水素化アクリルアミドを使用した。

このモニタリングを開始した 2006 年 8 月から見ると、ポテトチップスのアクリルアミド濃度は、新ばれいしょが加工にまわる 8 月に最低値をとり、その新ばれいしょを長期貯蔵した後に加工する翌年 2～6 月頃に高くなるという季節変動が、2008 年 6 月まで認められた（図 3-1-1）。この季節変動に基づいて 8 月から翌年 8 月前（サンプリング月としては 6 月）までを 1 シーズンとすると、2008-2009 年のシーズンについては、我が国における市場シェア 1 位の A 社の主要製品のアクリルアミド濃度の全国平均がどの月も 1 mg/kg 以下を保ち、その前の 2 シーズンに見られたアクリルアミド濃度の変動が見られず、これまでとは明らかに傾向が異なった。2009-2010 年のシーズンについても、2 月の 1.24 mg/kg を頂点とした小さなピークが認められただけであった。さらに 2009-2010 年のシーズンは、A 社だけでなく B 社も年間を通してアクリルアミド濃度があまり上昇せず、月平均で 1.3 mg/kg 以下に保たれていた。これは、自社製品のモニタリングに基づいた原料ばれいしょの選別強化、揚げ加工後の空冷用の装置の導入、焦げたチップの除去のような対策の導入によるアクリルアミドの低減の結果であることが一つの可能性として考えられる。

ポテトチップスのアクリルアミド濃度の都市間差については、札幌と福岡の間にのみ有意差が認められ、札幌における濃度の方が高かった（図 3-1-2）。これは、春に九州産の新ばれいしょが出回る時期においても、ばれいしょの最大産地である北海道で

は前年産の長期貯蔵生ばれいしょがあるため、新ばれいしょの加工への導入が遅くなり、その分還元糖濃度の高い貯蔵生ばれいしょをポテトチップス原料として使う場合が多いためではないかと推測される。

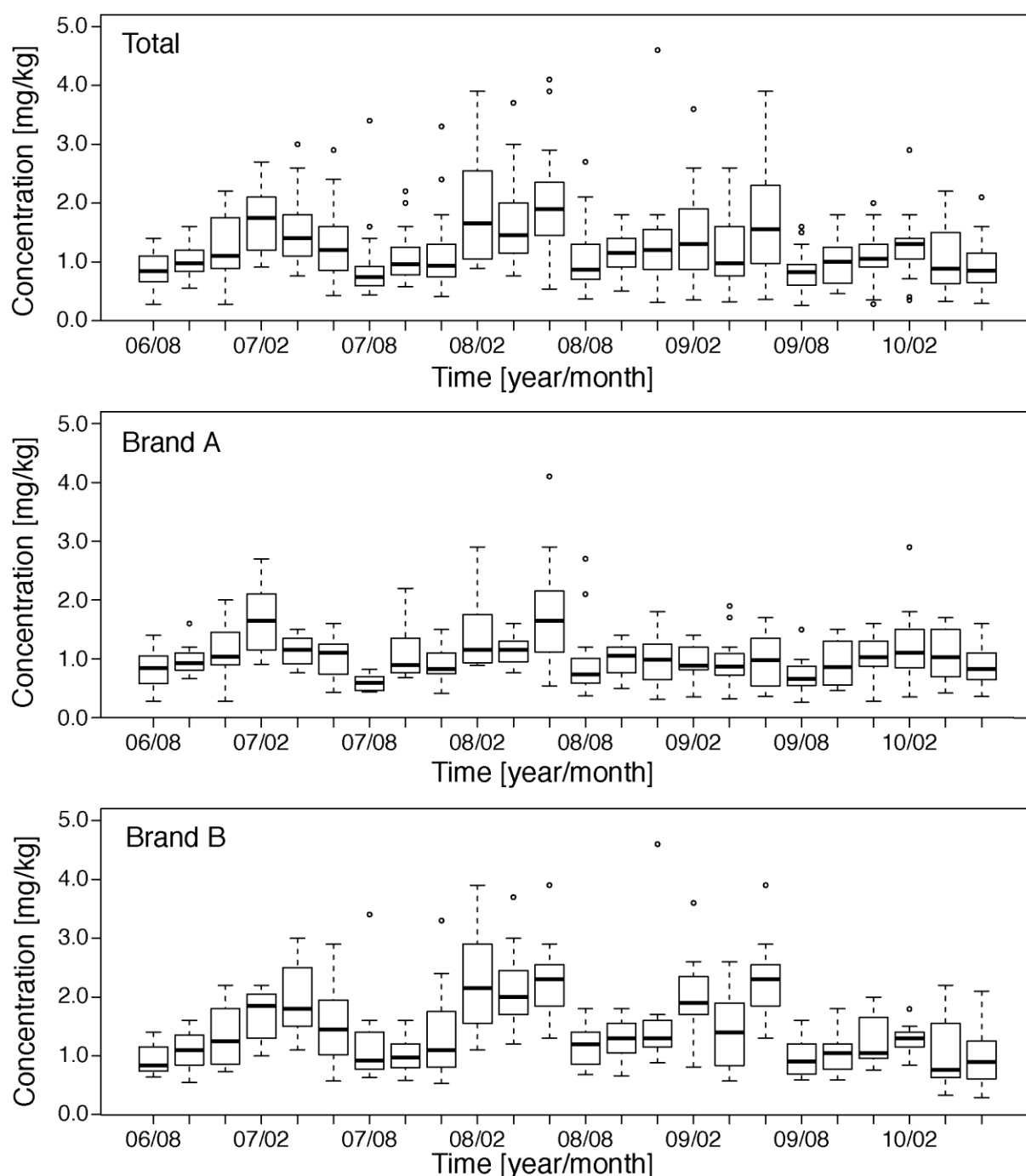


図 3-1-1 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度の季節変動を示す箱ひげ図
長方形は四分位範囲 (IQR) を示し、長方形の中の線は中央値を示す。第 1 四分位数-1.5IQR より小さいデータ点と、第 3 四分位数+1.5IQR より大きいデータは、外れ値として丸で示した。IQR の上下に伸びる点線は、外れ値を除くデータの最低値と最高値までの範囲を示す。

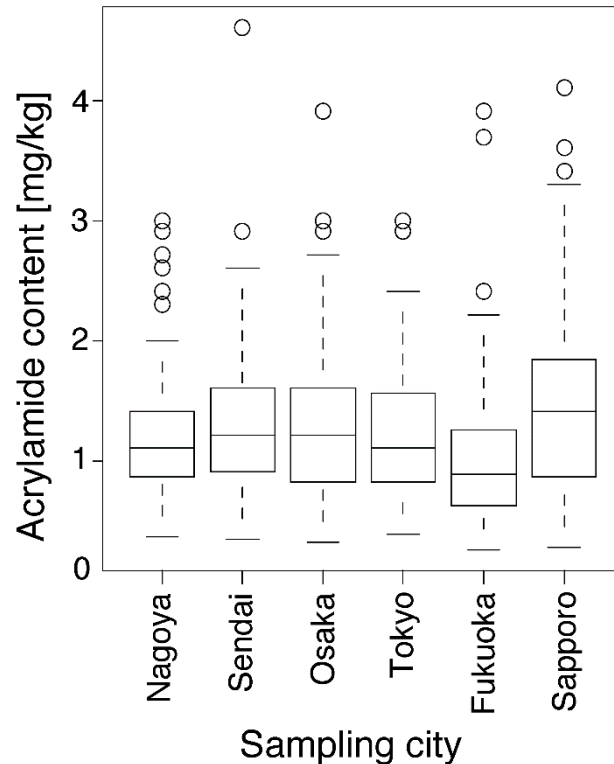


図 3-1-2 市販ポテトチップのアクリルアミド濃度の都市間の変動を示す箱ひげ図
長方形は四分位範囲（IQR）を示し、長方形の中の線は中央値を示す。第 1 四分位数 -1.5IQR より小さいデータ点と、第 3 四分位数+1.5IQR より大きいデータは、外れ値として丸で示した。IQR の上下に伸びる点線は、外れ値を除くデータの最低値と最高値までの範囲を示す。

2) 平成 23 年度における研究実績概要

本課題は 22 年度で終了した。

3) 成果の内容

1. 2010 年 6 月まで、日本におけるポテトチップスの販売量の上位 2 メーカーの代表的商品 2 サンプル（賞味期限の異なるもの）を、札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡の 6 都市で、偶数月に店頭で買い取りサンプリングを行い、アクリルアミド濃度の分析値を得た。
2. ポテトチップスのアクリルアミド濃度は、新ばれいしょが加工にまわる 8 月に最低値をとり、その新ばれいしょを長期貯蔵した後に加工する翌年 2～6 月頃に高くなるという 2008 年 6 月までの 2 年間に認められた季節変動が、2008 年 8 月以降、我が国における市場シェア 1 位の社の主要製品で抑制され、また 2009 年 8 月以降はシェア 2 位の社の主要製品についても同様に抑制されたことが明らかになった。

(2) 小課題名「市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度の変動要因の解析」

1) 平成 22 年度までの研究実績概要

アクリルアミド濃度の変動要因を表 3-2-1 にまとめた。最大の変動要因は、袋間差を含むロット間差で、全体でのアクリルアミド濃度の平均が 1.26 mg/kg であるのに対して、標準偏差で 0.54 mg/kg (RSD で 43%) であった。次いで、月間差が標準偏差で 0.29 mg/kg、メーカー間差 0.28 mg/kg、都市間差 0.12 mg/kg であった。サンプリング月よりも生産月を明確に反映する賞味保証期限の月別の解析も行ってみたが、ポテトチップスは店頭での回転が速い商品であり、賞味保証期限の月別で分類すると、サンプリングが 2 ヶ月ごとなので、データ数の多い月と少ない月があり、サンプリング月を用いた解析結果に比べてより明確な傾向が明らかになることはなかった。

なお、2008 年 8 月以降、我が国における市場シェア 1 位の A 社の製品で、また 2009 年 8 月以降はシェア 2 位の B 社の製品についても、月間差が見られなくなった。同時に、2009 年 8 月以降の 1 年間では、A 社と B 社の製品のアクリルアミド濃度に有意水準 5% で差が認められなくなった。一方、袋間差を含むロット間差に大きな変化はなかった。

表 3-2-1 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度の変動要因解析結果

Uncertainty budget throughout survey period					
Brand	City-to-city variation	Time-to-time variation	Lot-to-lot variation	Brand-to-brand variation	Average (mg/kg)
All	0.12	0.29	0.54	0.28	1.26
A	0.19	0.23	0.43	NA	1.06
B	0.00	0.42	0.58	NA	1.46
Uncertainty budget after temporal variation decreased					
Brand	City-to-city variation	Time-to-time variation	Lot-to-lot variation		Average (mg/kg)
A (August 2008–)	0.22	0.00	0.40		0.98
B (August 2009–)	0.07	0.00	0.42		1.09

^aUncertainty is standard deviation.

2) 平成 23 年度における研究実績概要

本課題は 22 年度で終了した。

3) 成果の内容

- 市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度の最大の変動要因は、袋間差を含むロット間差で、次いで月間差、メーカー間差、都市間差の順であった。
- 2008 年 8 月以降、我が国における市場シェア 1 位の A 社の製品で、また 2009 年 8 月以降はシェア 2 位の B 社の製品についても、アクリルアミド濃度の月間差が見られなくなった。同時に、2009 年 8 月以降の 1 年間では、A 社と B 社の製品のアクリルアミド濃度に有意水準 5% で差が認められなくなった。これは、自

社製品のモニタリングに基づいた原料ばれいしょの選別強化、揚げ加工後の空冷用の装置の導入、焦げたチップの除去のような対策の導入によるアクリルアミドの低減の結果であることが一つの可能性として考えられる。

V. 論文、特許等の実績及び推進会議開催状況等
別添のとおり。

VI. 研究総括者による自己評価

全体

目標を達成したか A：達成した B：概ね達成した C：達成できなかった	A
我が国におけるアクリルアミドのリスク管理に重要と考えられた炊飯米、ブラウnlルウ、冷凍フライドポテト、トースト、麦茶、ほうじ茶、ポテトチップスに関するアクリルアミドの含有実態や、その生成要因を明らかにできた。炊飯米については、特に注意する必要性が低いこと、ブラウnlルウについては、原料に薄力粉を用い、低温で長い時間をかけずに仕上げた淡い色のものが、アクリルアミド濃度が低いだけでなく、官能評価的にも遜色がないことを明らかにした。フライドポテト、トーストの家庭調理に関しては、アクリルアミド低減のための消費者向けの仕上がり状態の表現を提案することができた。麦茶については、焙煎の指標であるL*値が低いほどアクリルアミド濃度が低いことを明らかにした。ほうじ茶については、原葉の種類にかかわらず焙煎時間を長くすることで、同じ原料でもアクリルアミド濃度が半分以下のほうじ茶を製造できることを実証し、当初の目標であったアクリルアミド濃度半減のほうじ茶製造方法の開発を達成した。さらに麦茶、ほうじ茶ともに、製造後常温で貯蔵すると、アクリルアミドが減少することを明らかにした。日本におけるポテトチップスの市場シェアが大きい2社の主要商品のアクリルアミド濃度を月と年による変動をモニタリングし、メーカーによるアクリルアミド低減対策の効果と推測される変動を検出することができた。	
以上のように、リスク管理上重要な各食品について、アクリルアミドの含有実態や、その生成要因を解明し、それに基づいた低減法を提示でき、目標を達成できた。	

1. 中課題名「加熱調理によるアクリルアミドの生成に影響する要因解明とそれに基づいた低減調理法の提案」

目標を達成したか A：達成した B：概ね達成した C：達成できなかった	A
当初の達成目標である「加熱調理によるアクリルアミドの生成に影響する要因解明とそれに基づいた低減調理法の提案」については、炊飯米とブラウnlルウのモデル調理を予定通り初年度に完了するとともに、アクリルアミド低減に関するCodex実施規範を踏まえた、冷凍フライドポテト及びトーストの調理条件と仕上がり状態に関する研究を行い、目標を達成した。	
炊飯米については、特に注意する必要性が低いこと、ブラウnlルウについては、アクリルアミド濃度を低下させるためには、仕上がり色ではなく温度（本研究では170℃）で判断することが推奨されることを明らかにした。フライドポテト、トーストの家庭調理によるアクリルアミド濃度の頻度分布を明らかにするとともに、低減のための消費者向けの仕上がり状態の表現を提案し、その効果を検証することができた。	

2. 中課題名「ほうじ茶及び麦茶に含まれるアクリルアミドの生成要因解明と低減技術の開発」

目標を達成したか A：達成した B：概ね達成した C：達成できなかった	A
麦茶、ほうじ茶ともに、製造後常温で貯蔵すると、アクリルアミドは減少することを明らかにした。麦茶商品の履歴に関する聞き取り調査は行わず、麦茶製造に関する調査に変更したが、原料から焙煎まで麦茶製造の実態を把握していなかったため、計画の変更は妥当であった。原料麦や焙煎方法でやや差はあるものの、焙煎の指標であるL*値が低いほどアクリルアミド濃度が低いことを明らかにし、アクリルアミド低減法開発の目標は達成し	

た。ほうじ茶については、いずれの原葉を用いても焙煎時間を長くすることで、同じ原料でもアクリルアミド濃度が半分以下のほうじ茶を製造できることを明らかにし、当初の目標であったアクリルアミド濃度半減のほうじ茶製造方法の開発は達成した。

3. 中課題名「市販ポテトチップスのアクリルアミド濃度のモニタリングと変動要因の解析」

目標を達成したか A：達成した B：概ね達成した C：達成できなかった	A
本事業の前の「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（最終年度は「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業）」から続いて4年間のモニタリングができたため、日本におけるポテトチップスの市場シェアが大きい2社の主要商品のアクリルアミド濃度の月と年による変動の傾向を明らかにできた。さらに最後の2年間はメーカーによるアクリルアミド低減対策の効果と推測される変動をモニタリングすることができた。また、月間差、年間差、メーカー間差、販売都市間差を統計学的に明らかにすることができた。このことは、本中課題で行った製品の買い取りサンプリング法が、モニタリングの目的に合った適切なものであったことを証明するものでもある。アクリルアミドの経口摂取源として重要なポテトチップスに関して、日本の代表的市販製品の適切なモニタリングにより、科学的データを継続的に行政部局に提供できたことは、レギュラトリーサイエンスの視点から有意義なものであったと言える。	