

研 究 分 野	5 県産水産物の品質優位性の証明等 による市場流通の支援	部 名	利用加工部
研 究 課 題 名	(1) 県産水産物の非破壊迅速品質評価技術の実証 ② マイクロ波照射センシングによる塩蔵海藻製品の 非破壊含水率測定技術		
予 算 区 分	受託 (利用試験費)		
試験研究実施年度・研究期間	平成24～25年度		
担 当	(主) 及川 和志		
協 力 ・ 分 担 関 係	JST 科学技術振興機構・復興促進センター盛岡事務所、重茂漁業協同組合、 マイクロメジャー (株)、地独) 岩手県工業技術センター、 岩手県漁業協同組合連合会 (アドバイザー参加)		

<目的>

本県沿岸で生産される養殖ワカメは、大半が「湯通し」と「塩漬け」が施された塩蔵加工製品として流通しており、その品質を保存性良く維持するためには製品の水分と塩分を適切に管理することが重要である。

しかしながら、従来の品質管理手法 (目視や官能による出荷製品の等級格付け) のみでは十分とは言えず、また、迅速な測定結果が得られる分析手法が不足している為に、出荷流通時など、製品の全数を対象とした成分の規格管理は実現できていない。

そこで、海藻類、特に塩蔵加工されたワカメ (製造仕掛品、箱入り最終製品) に含まれる水分等を迅速かつ簡便に判定し得る新たな分析手法として、木材用水分計で実用化が進むマイクロ波 (図1) センシング技術を応用した海藻成分用プロトタイプ装置の開発を行い、高濃度な塩分が含まれる被測定試料の含水率を精度良く測定できる最適なセンシング条件を検討するとともに、養殖ワカメ等、海藻加工分野における製造・流通管理手法としての技術的基盤の構築を目的とする。

<試験研究方法>

木材の含水率測定に活用されているマイクロ波式水分計 (写真1) の構成を基に、新たに作成した試料特性研究用の装置と測定用治具により (写真2)、塩蔵ワカメの水分測定に適した装置構成を抽出した (図2、3)。

さらに、ワカメ試料の不均質性による測定精度の低下を念頭に、乾燥カットワカメと塩水による均質な試料モデル (図4) を作成することで測定データの再現性を確保し、これにより塩蔵ワカメの規格箱入り製品に対応した水分率測定装置の試作開発を実施した (写真3)。

測定対象とする塩蔵ワカメ製品 (15kg容規格箱入り) の水分率測定に対応するため、周波数2.4GHzのマイクロ波送受信回路を採用した対向型接触プローブ式水分計 (藻体単位での抜き取り検査用) 1機種、同じく対向型ホーンアンテナと移送コンベアー装置を組み合わせたフリースペース式水分計 (製品箱単位もしくは製品箱からの一部抜き取り検査用) 2機種を新たに開発し、それぞれについて従来法 (加熱式水分計) での成分分析結果と対比させて装置測定値の相関性と装置性能 (測定精度、再現性) を検討した。

<結果の概要・要約>

本事業で試作開発したフリースペース型 (ホーンアンテナ型送受信系) 非接触式マイクロ波水分計 (写真4) を用いた検討により、湯通し塩蔵ワカメに含まれる水分 (塩水分) 率に対しても、従来法で得られる水分率の測定値に一定の相関性が得られることを初めて見いだした。

定容積に占める塩水分の量的変化に応じて得られる測定値は、塩水量が5kgまでの範囲で直線的に変化しており (図5)、その範囲内であれば、予め作成した検量線データ (図6) を基にして製品中の水分 (塩水分) を非破壊で精度良く推定できると考えられる (表1参照)。この際、マイクロ波の照射角は、試料に対して45°C程度に傾斜させることで、測定レンジ内の精度が向上すると考えられる。

なお、残念ながら、実際に流通する 15kg 入りの湯通し塩蔵ワカメ製品に対しては開発したプロトタイプ装置の測定レンジを超えるため、水分量を推定する為には試料厚を 1/3 程度まで薄くする必要があります。

湯通し塩蔵ワカメは、マイクロ波による水分率測定で実用化が先行している木材と比べ、重量あたりに占める水分量が数倍多く含まれ、また、水分によるマイクロ波の減衰に影響が大きい塩分が高濃度に含まれていることから、木材用水分計では十分に対応し得る製品寸法であっても、湯通し塩蔵ワカメでは測定レンジを超えているとの結果は納得できる結論である。

今回、試作したプロトタイプの非破壊式検査装置は、参画機関が有する現状の技術の組み合わせの中で湯通し塩蔵ワカメの製品寸法と内容量に最大限適する周波数を選択したマイクロ波送受信装置で構築されたものであり、内容量が 5kg までであれば水分率を適切に推定可能（測定レンジ内に収まる）とする当該分野では初となる成果も得られており、本事業での取り組みでは事業目標が概ね達成されたと考えている。

<今後の問題点>

マイクロ波による水分率測定を、これまでは困難と考えられていた高濃度の塩分を含む海藻加工品に対しても適用できるとの画期的な技術的知見を得ることができたが、海藻製品の規格寸法・内容量に対応した非破壊測定を実現するまでには、マイクロ波照射系の大幅な小型化・高指向性を高度に両立させる必要があるなど、既存シーズを超えた新たな技術開発が必要である。

これまでの研究と装置開発から、①マイクロ波の周波数は 800MHz 付近まで下げつつ、②マイクロ波照射面積が製品箱を超えない範囲に収まる指向性に優れた小型のセンサー（ホーン型のアンテナなど）といった 2 条件が満たされたマイクロ波送受信系を開発する必要性が指摘されている（表 2）。

<次年度の具体的計画>

本事業は、平成 24 年度から平成 25 年度末までの 2 カ年で実施を計画するものであり、受託研究事業としての研究開発については何れの参画機関も計画通り完了し、独) JST 科学技術振興機構に対する報告を行った。

最終目標である（海藻・湯通し塩蔵ワカメ）製品に対する非破壊検査装置の実用化については、将来的な研究と技術開発の進展によって実現が可能であると考えられるが、本事業の実施によって新たに抽出された技術的課題を直ちに解決できるとの見通しは得られていない為、海藻製品を対象とする非破壊品質検査装置の検査装置の開発については、次年度以降の継続を行わず、中断とする。

<結果の発表・活用状況等>

本事業で取り組んだ海藻製品を対象とした非破壊品質検査装置の開発については、県政番組「いわて希望の一步」（放送日：平成 26 年 4 月 21 日～26 日）において、ワカメ産地の復興に向けた取り組みとして、独) JST 科学技術振興機構・盛岡復興事務所、および、研究課題を統括する重茂漁業協同組合とともに、水産技術センター担当者に対する取材内容が紹介された。

周波数	名称	名称	名称	
3 kHz				
30 kHz	VLF	超長波		
300 kHz	LF	長波		
3 MHz	MF	中波		
30 MHz	HF	短波		
300 MHz	VHF	超短波		
3 GHz	UHF	極超短波	225 MHz	Pバンド
			390 MHz	Lバンド
30 GHz	SHF	マイクロ波	1.55 GHz	Sバンド
			5.2 GHz	Xバンド
300 GHz	EHF	ミリ波	11 GHz	Kバンド
			33 GHz	Qバンド
3 THz		サブミリ波	55 GHz	



図1 電磁波 (3kHz~3THz) におけるマイクロ波帯の定義

写真1 木材用水分計製品の事例

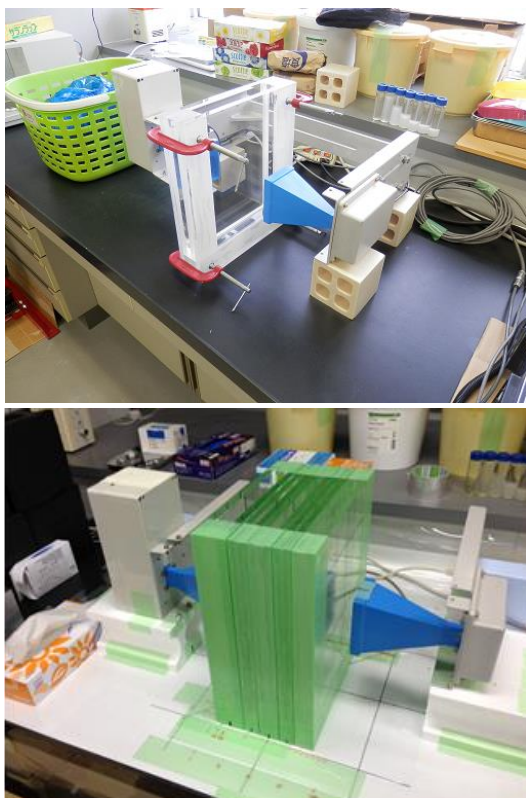


写真2 研究用のマイクロ波式水分計

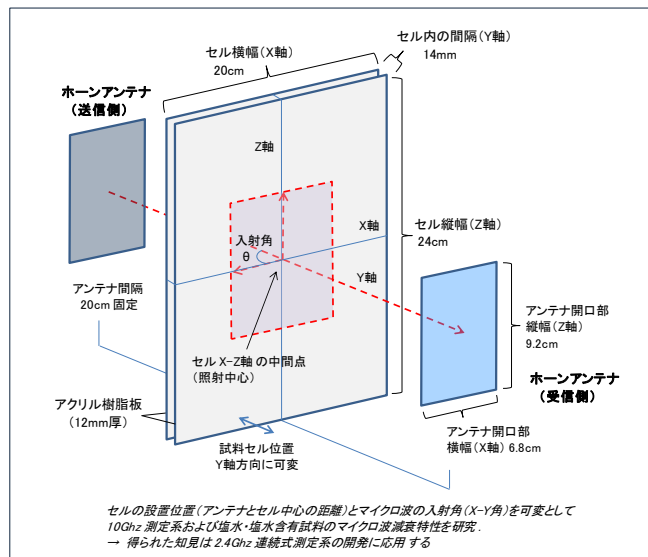
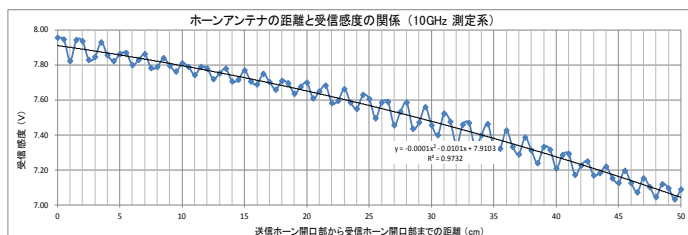


図2 アクリル製試料セルを用いた測定系

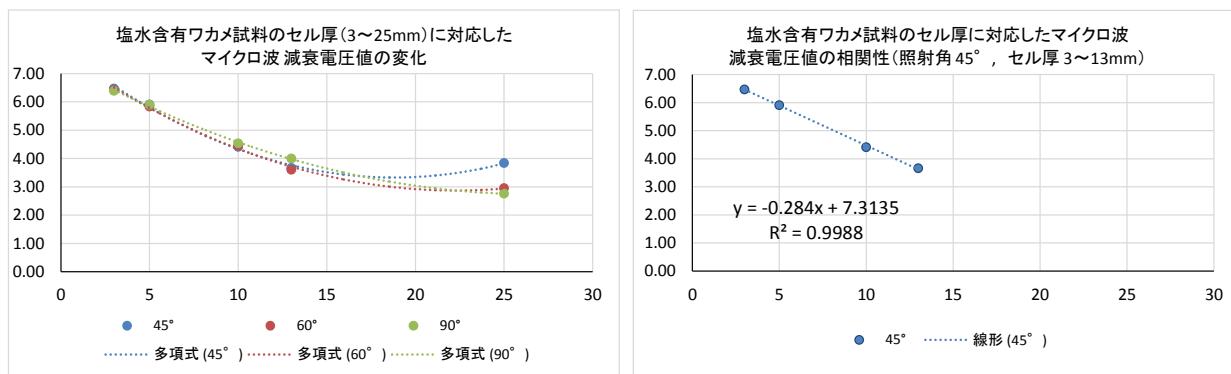


図3 塩水を含むワカメ試料の厚さ[横軸, 単位(mm)]と減衰電圧[縦軸, 単位(mV)]との相関性(周波数 10GHz を用いた研究用水分計における最大試料厚に関する評価)

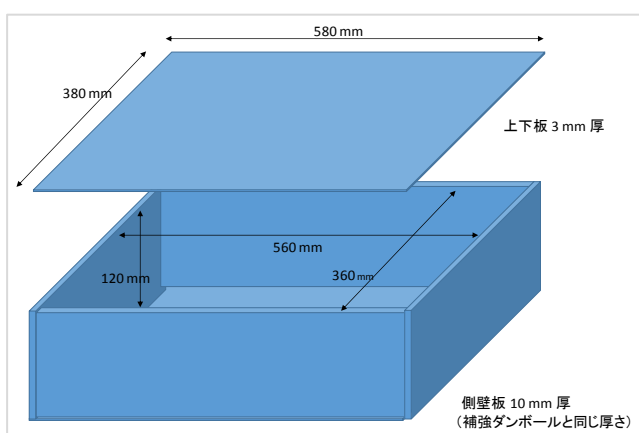


図4 塩蔵ワカメ製品箱を模した定容積試料セル

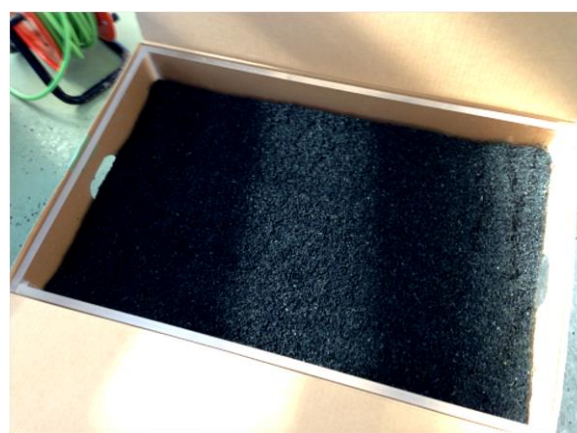


写真3 試料セルへの試料充填例(乾燥カットワカメ)



写真4 コンベアーによる搬送機構を備えた湯通し塩蔵ワカメ製品用マイクロ波水分計のプロトタイプ

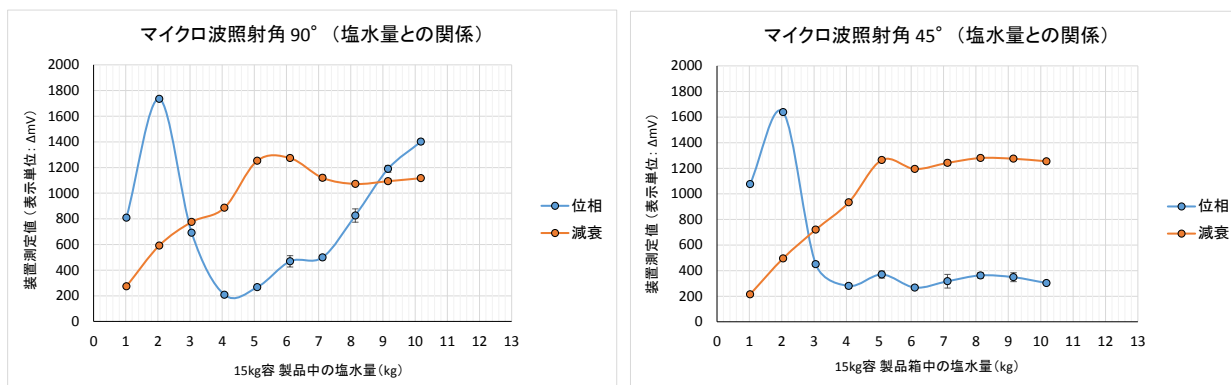


図5 製品検査用マイクロ波水分計（プロトタイプ）により得られる湯通し塩蔵ワカメ試料の測定例

表1 製品充填量を1/3の5kgに限定した場合の試料測定精度の検証（容積は製品と同じ）

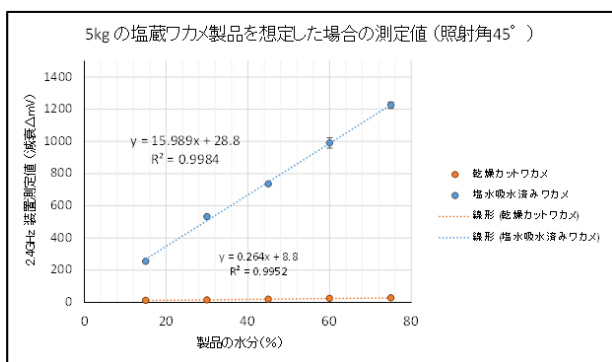


図6 製品用検査装置の水分測定用検量線
（測定レンジ内である製品重量5kgでの換算式）

5点検量線（水分率 15～75%） $Y=(0.0624 \times X)-1.7249$ 測定の流れ返し（箱の進行方向は交互に入れ換え）						
5kg 充填ロット	1	2	3	4	5	mean SD RSD%
1	47.70	45.82	48.13	46.26	48.26	47.22 1.12 2.37
2	46.57	45.57	45.95	45.51	46.39	46.0 0.47 1.03
3	46.57	45.95	46.70	46.07	46.45	46.3 0.32 0.70
4	46.70	46.26	46.82	46.01	47.51	46.7 0.58 1.24
5	48.57	48.82	49.19	48.63	48.76	48.8 0.24 0.50
Ave.	47.22	46.49	47.36	46.50	47.47	47.01
SD	0.89	1.33	1.29	1.22	1.06	1.10
RSD%	1.88	2.86	2.73	2.63	2.23	2.33

3点検量線（水分率 45～75%） $Y=(0.0613 \times X)-0.2923$ 測定の流れ返し（箱の進行方向は交互に入れ換え）						
5kg 充填ロット	1	2	3	4	5	mean SD RSD%
1	48.26	46.42	48.69	46.85	48.81	47.8 1.10 2.30
2	47.15	46.17	46.54	46.11	46.97	46.6 0.47 1.00
3	47.15	46.54	47.28	46.66	47.03	46.9 0.32 0.68
4	47.28	46.85	47.40	46.60	48.07	47.2 0.57 1.20
5	49.12	48.36	49.73	49.18	49.30	49.3 0.24 0.49
Ave.	47.76	47.07	47.93	47.06	48.04	47.58
SD	0.87	1.30	1.27	1.20	1.04	1.08
RSD%	1.83	2.77	2.65	2.56	2.17	2.27

表2 本事業で実施した湯通し塩蔵ワカメ製品用水分測定装置（マイクロ波式）に対する実用性評価

本事業で開発した試作装置 （塩蔵海藻の水分率測定装置）	海藻（塩蔵ワカメ）加工の分野で想定される使用用途	見出される改善課題
接触式プローブ型試作機	①工程での抜き取り成分検査	・湯通し塩蔵ワカメの中芯に含まれる水分率の差異を1%未満で判別可能とする精度の向上に期待。 ・水分率と同時に試料中の対水塩濃度（塩水濃度）を測定可能とする性能の付与。 ・当初、塩水濃度測定に活用が期待された反射型プローブは、高濃度の塩分を含む試料に気泡を除いた状態で接触させる必要があり、試作段階でのデータの再現性と対腐食性の確保に難があったため採用できず。
フリースペース型試作機 I （周波数10GHz、小型・試験用）	①試料特性に関する評価	・新たな素材を対象にしたマイクロ波計測系の開発では複数（2～3程度）の周波数帯を用いて比較することで、試料に最適な装置構成（試料厚、照射条件や成分（水分）測定の実用レンジを推定できるため、新規素材を対象とした装置開発の標準手法としてマニュアル化が望める。
	②工程での抜き取り成分検査	・工程での抜き取り検査用にフリースペース型マイクロ波水分計の活用は現実的ではなく、検討は継続せず。
フリースペース型試作機 II （周波数2.4GHz、コンペアー付・大型・実用型プロトタイプ）	③製品の抜き取り成分検査	・周波数10GHzの水分計システムは小型であるが高額（2.4GHzの数倍、約1000万円）。 ・セルへの試料充填方法の簡易化や試料前処理による均質化などに改善が必要。
	①製品の抜き取り成分検査	・周波数2.4GHzの水分計システムは大型であり設置場所等に一定の制限が生じる。 ・セルを5kgの試料に最適化し、試料厚を一定（4cm）にコントロールできる容量とすれば、塩蔵製品の測定における作業の簡易化と測定精度の向上が進むものと期待される。
フリースペース型試作機 II （周波数2.4GHz、コンペアー付・大型・実用型プロトタイプ）	②製品の非破壊・全数検査	・今回の知見より、周波数を現状の2.4GHzから約1/3である800MHzまで下げれば海藻製品の水分率も測定レンジに入ると期待できる。 ・一方、マイクロ波周波数800MHzは照射面積が製品表面積を大幅に超えるため、感度や精度の安定的な確保が難しいと予測される。 ・800MHz帯の測定系開発は完全に新規であるため、研究開発費は数千円レベルが見込まれるが、木材等の他分野で利用が見込めないため、装置開発後のコスト低減が難しい。