

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 11 日現在

機関番号：23401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22580227

研究課題名（和文） 乾燥により塩漬魚肉内部に形成される食塩の濃度勾配の動的解析とその機能特性への影響

研究課題名（英文） Dynamic analysis for NaCl gradient formed in the inside of salted fish meat by dehydration and its effect on the functionality

研究代表者

大泉 徹 (OOIZUMI TOORU)

福井県立大学・海洋生物資源学部・教授

研究者番号：20254245

研究成果の概要（和文）：塩漬魚肉の低温乾燥中に起こる食塩（NaCl）の内部拡散はきわめて緩徐であり、表層部>中心部の NaCl の濃度勾配が形成された。一方、塩漬によって魚肉中心部から表層部への水分移動が促進され、乾燥速度は塩漬魚肉>未塩漬魚肉となった。乾燥温度の上昇は、未塩漬魚肉中の水分移動と塩漬魚肉中の NaCl の移動を促進し、高温乾燥では塩漬による乾燥促進効果は認められなくなった。乾燥にともなう魚肉内部の成分移動は、乾燥の進行とともに魚肉内部の水分活性にも強く影響を及ぼすことが示された。

研究成果の概要（英文）：The gradient of sodium chloride (NaCl) content descending from the surface to the inside of salted fish meats was formed throughout the dehydration at lower temperature, suggesting that the sluggish migration of NaCl in salted fish meats. Internal migration of moisture from the inside to the surface during dehydration was promoted by the permeation of NaCl into fish meats, resulting in promotion of drying process of salted meat. Rising of drying temperature enhanced internal moisture migration in unsalted meats and NaCl diffusion in salted meat. Consequently, promotive effect of salting on dehydration was declined when drying at higher temperature. Furthermore, internal migration of moisture and NaCl in fish meats during dehydration closely related to water activity in the inside of dried fish meats.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：水産食品加工

科研費の分科・細目：水産学・水産化学

キーワード：魚肉、塩漬、乾燥、食塩、水分、内部移動、乾燥速度、水分活性

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 魚肉中の水分量や食塩（NaCl）含量は、水産加工品の品質と密接に関係していることから、従来からそれらの含量の調節に関する研究が広く行われて

きた。しかし、それらの大部分は魚肉中の水分量と NaCl 含量を魚肉全体のそれらの平均値として検討したものであり、魚肉内部の水分や NaCl の分布については、全く考慮されていない。

- (2) このような背景の中で、著者らは塩漬魚肉の内部で起こる水分と NaCl の緩やかな移動が、魚肉中のそれらの分布を不均一にすることを示し、そのことがタンパク質の変性や組織構造の変化に影響を及ぼすことを示唆した。
- (3) しかしながら、塩漬に引き続く乾燥などの加工過程で起こる魚肉中の水分と NaCl の移動とそれらの分布については未だ明らかではない。

## 2. 研究の目的

- (1) 乾燥にともなう塩漬魚肉中の水分と NaCl の内部移動を、乾燥の進行との関連で明らかにする。
- (2) さらに、塩漬魚肉中の水分と NaCl の内部移動に及ぼす乾燥温度および魚肉の加熱処理の影響を検討する。
- (3) 塩漬乾燥魚肉中の水分と NaCl の分布と水分活性との関係を明らかにする。

## 3. 研究の方法

- (1) 種々の濃度の NaCl 溶液で塩漬したハマチフィレー（以下魚肉とする）を 20°C で 36h まで乾燥し、乾燥にともなう魚肉の重量減少から乾燥の進行を検討した。
- (2) 一定時間ごとに魚肉の表層部から 4 mm ごとに深度の異なる部位を分離し、それらの水分量（常圧乾燥法）と食塩含量（原子吸光法）を測定した。
- (3) 乾燥にともなう塩漬魚肉中の NaCl の拡散については、エネルギー分散型 X 線分光器を装備した走査電子顕微鏡（SEM-EDS）による連続的な解析も行った。
- (4) 乾燥温度を 40°C として、未塩漬魚肉と塩漬魚肉の乾燥の進行ならびに水分と NaCl（塩漬魚肉のみ）の内部移動についても同様に検討した。
- (5) 未塩漬魚肉と塩漬魚肉を 80°C で加熱処理し乾燥の進行ならびに水分と NaCl（塩漬魚肉のみ）の内部移動を未加熱魚肉の場合と比較検討した。
- (6) 20°C で乾燥した塩漬乾燥魚肉について、魚肉内部の水分活性を水分活性測定装置を用いて測定し、魚肉中の水分と NaCl の分布との関係を検討した。

## 4. 研究成果

- (1) 2.0 M の NaCl 溶液で 24 時間塩漬した魚肉を 20°C で乾燥し、表層部からの深度の異なる部位における NaCl 含量の変化を検討した結果を図 1 に示した。乾燥にともない魚肉中の水分量も変動することから、図 1 では NaCl 含量を乾物換算値として示した。乾燥前の塩漬魚肉では NaCl は表層部（～4mm）に多く分布しているが、乾燥にともない表層部の NaCl 含量がやや減少して中心部のそれはわずかに増加した。しかしながら、36 時間乾燥後においても、NaCl 含量は表層部>中心部であり、魚肉内部では中心部から表層部に向かって増加する NaCl の濃度勾配が維持されていることが示された。この結果は、低温乾燥にともなう塩漬魚肉内部の NaCl の拡散がきわめて緩やかに起こることを示唆している。

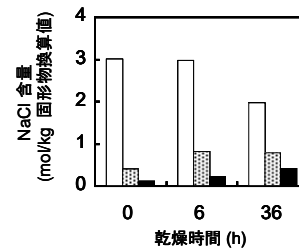


図1 乾燥にともなう魚肉内部のNaCl含量の変化  
表層部からの深度：  
0-4 mm □ 4-8 mm ▨ 8-12 mm ■

- (2) 乾燥にともなう塩漬魚肉中の NaCl の拡散を SEM-EDS を用いて検討した。SEM-EDS は、電子線の照射にともなって発生する元素固有の特性 X 線を検出することを原理としており、主に無機材料の元素分析に利用されているが、生物材料についてはほとんど応用例が見られない。

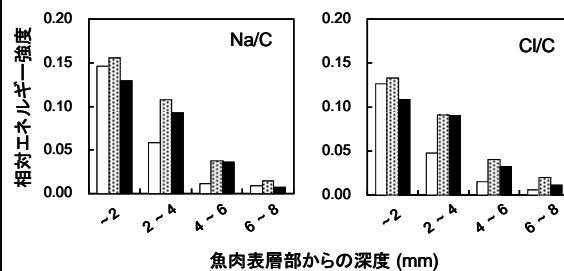


図2 SEM-EDSによる塩漬魚肉中のNaClの分布状態の解析  
乾燥時間: 6h □ 12h ▨ 36h ■

図 1 と同様の条件下で、塩漬魚肉の乾燥にともなう NaCl の拡散を SEM-EDS を用いて解析した結果を図 2 に示した。図 2 においては、Na または Cl に由来する特性 X 線のエネルギーを、炭素の

それらに対する相対値として示した。図2によると、Na または Cl の特性 X 線のエネルギー強度は、乾燥時間にかかわらず魚肉表層部からの深度とともに減少しており、図1の結果が裏づけられた。図2は塩漬魚肉中の Na または Cl の分布を、表層部からの深度 2mm 単位で連続的に解析した結果を示しており、SEM-EDS を用いることにより微小範囲の NaCl の拡散を解析することができることが示された。また、図示はしないが、SEM-EDS による元素マッピングにより、NaCl の拡散過程を可視化することが可能であった。

- (3) 続いて未塩漬および 0.5~3.0 M NaCl 溶液で 24 時間塩漬した魚肉を、20°C で乾燥し、魚肉中の深度の異なる部位の水分量の変化を検討した結果を図3に示した。魚肉表層部の水分量は塩漬の有無と塩漬液の濃度にかかわらず、乾燥時間とともに大きく減少したが (A)、表層部からの深度が 4~8mm の部位では未塩漬魚肉と 0.5 M NaCl 塩漬魚肉の水分量の減少度合いが小さくなり (B)、8mm 以深の部位では、36 時間乾燥後においても、それらの魚肉の水分量は乾燥前からほとんど変化しないことが示された。この結果は、図1に示したように、魚肉中の NaCl 含量の増加とともに、魚肉内部で形成される NaCl の濃度勾配により、魚肉内部から表層部への水分移動が促進されたためと考えられた。

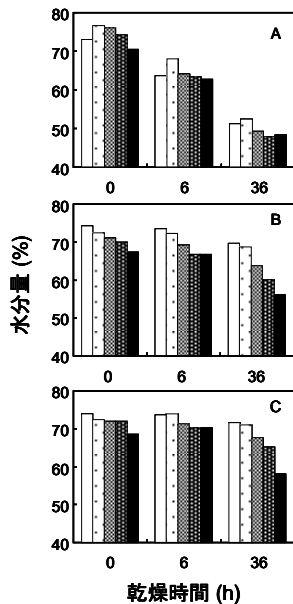


図3 乾燥にもなう塩漬魚肉内部の水分量の変化  
塩漬乾燥魚肉の表層部から4mmまで(A)、4-8mm(B)  
8mm以深(C)の水分量を測定した。  
塩漬液の濃度: □ 0.5 M ▨ 1.0 M ■ 2.0 M  
■ 3.0 M □ 未塩漬魚肉

- (4) 乾燥にもなう魚肉内部の水分移動は、

乾燥の進行と密接に関連している。そこで、未塩漬魚肉と 2.0 M NaCl 溶液で塩漬した魚肉の 20°C における乾燥の進行を、魚肉の重量変化 (乾燥歩留り) から比較検討した。乾燥歩留りは塩漬前の魚肉重量を基準として算出した。図4に示したように、乾燥時間とともに乾燥歩留りは未塩漬魚肉よりも塩漬魚肉で大きく低下し、乾燥が促進されることが示された。乾燥の進行にともない、魚肉の水分量も未塩漬魚肉よりも塩漬魚肉で大きく低下した (結果は図示しない)。したがって、魚肉中への NaCl の浸透とその濃度勾配の形成と関連して起こる魚肉内部の水分移動が乾燥を促進することが推察された。

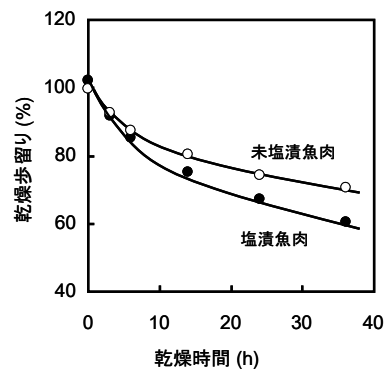


図4 未塩漬および塩漬魚肉の乾燥の進行の比較

- (5) そこで、次に塩漬魚肉中の NaCl 含量と 20°C、36 時間乾燥後の乾燥歩留りとの関係を検討した。塩漬魚肉の乾燥歩留りは未塩漬魚肉のそれを基準とした相対値で示した (図5)。その結果、NaCl 含量の増加とともに、乾燥歩留りが低下する傾向を示し、乾燥の進行が促進されることが確かめられた。

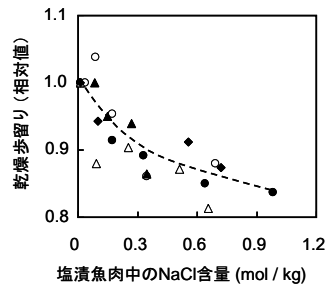


図5 塩漬魚肉の乾燥歩留りに及ぼす食塩含量の影響  
塩漬魚肉の乾燥歩留りを未塩漬魚肉のそれを基準とした相対値で示した。  
シンボルの違いはサンプルが異なることを示す。

- (6) これまでの結果は全て魚肉の乾燥温度を 20°C として得られたものである。次に高温乾燥 (40°C) における魚肉内部の成分移動を検討した。まず、2.0 M

NaCl 溶液で塩漬した魚肉を 40℃で乾燥したときの魚肉内部の NaCl 含量の変化を検討した結果を図 6 に示した。乾燥時間とともに、表層部からの深度にかかわらず、NaCl 含量は大きく増加し、36 時間乾燥後にはいずれの部位の NaCl 含量も類似した値を示した。この結果は、NaCl 含量を乾物換算しても、表層部>中心部の濃度勾配が観察された 20℃乾燥の場合 (図 1) とは明らかに異なり、40℃では NaCl の内部移動が促進されることを示唆している。

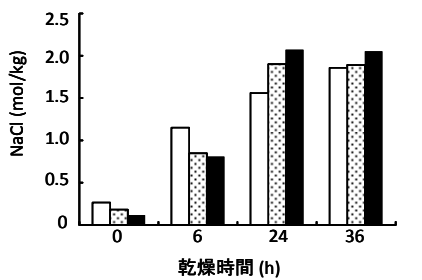


図6 高温乾燥(40℃)にともなう塩漬魚肉内部の NaCl の分布の変化  
魚肉表層部からの深度:  
0~4mm □ 4~8mm ▨ 8mm 以深 ■

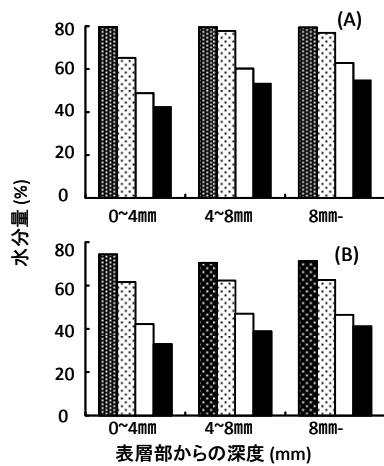


図7 高温乾燥にともなう魚肉内部の水分量の変化  
(A)未塩漬魚肉 (B)塩漬魚肉  
■ 0h □ 6h ▨ 24h ■ 36h

高温乾燥にともなう魚肉内部の水分量の変化を検討した結果を図 7 に示した。その結果、40℃乾燥では、20℃乾燥とは異なり、未塩漬魚肉の中心部の水分も乾燥時間とともに、塩漬魚肉のそれと同程度まで減少し、高温乾燥では、未塩漬魚肉の中心部から表層部への水分移動が促進されることが示された。その結果、40℃では未塩漬魚肉と塩漬魚肉の乾燥速度の差異は認められなくなった。40℃ではハマチ魚肉中の筋原繊維タンパク質の変性が大きく進行することから、筋原繊維タ

ンパク質の変性が魚肉内部の成分移動に影響を及ぼすことが推察された。

(7) 次に、未塩漬魚肉と塩漬魚肉を予め 80℃で 6 分間加熱した後、20℃で乾燥し、乾燥にともなう魚肉内部の成分移動を検討した。図 8 には、塩漬魚肉内部の NaCl 含量の変化を検討した結果を示した。乾燥前の加熱塩漬魚肉では、未加熱塩漬魚肉で見られた表層部>中心部の NaCl の濃度勾配が認められ、加熱処理により魚肉中の NaCl の分布はほとんど変化しないことが確かめられた。乾燥時間とともに、魚肉中の NaCl 含量に深度による差異は見られなくなったことから、塩漬魚肉の加熱処理は、乾燥温度の上昇と同様に魚肉内部の NaCl の移動を促進することが示唆された。

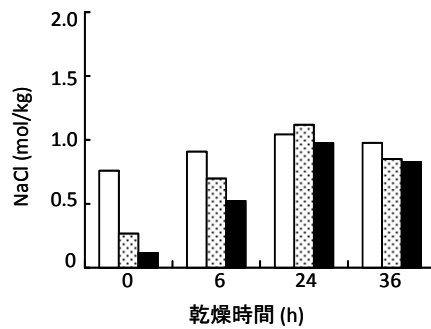


図8 加熱乾燥にともなう塩漬魚肉内部の NaCl 含量の変化  
表層部からの深度:

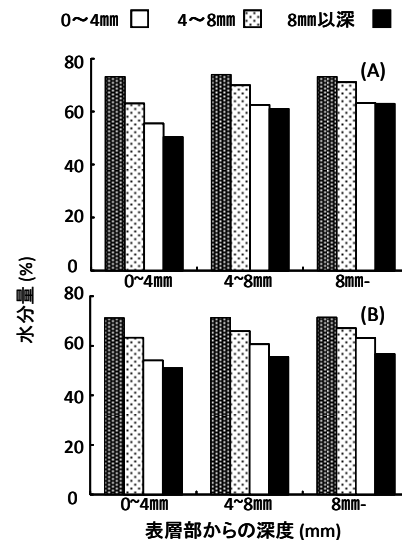


図9 加熱乾燥にともなう魚肉内部の水分量の変化  
(A) 未塩漬魚肉 (B) 塩漬魚肉  
■ 0h □ 6h ▨ 24h ■ 36h

加熱乾燥にともなう魚肉内部の水分量の変化を検討した結果を、図 9 に示した。これによると、加熱処理した未塩漬魚肉の中心部の水分量は乾燥時間とともに減少する傾向が見られ、

図2に示した未加熱魚肉の場合とは明らかに異なっていた。この結果は、加熱処理により、低温乾燥にともなう未塩漬魚肉中の水分移動が促進されたことを示唆している。また、以上の結果は、筋原繊維タンパク質の変性の進行が魚肉内部の成分移動に強く影響を及ぼすことを裏づけるものである。筋原繊維タンパク質の変性の進行と魚肉内部の成分移動との関連については、これまでにほとんど研究が行われていないことから、変性の進行度合いやその進行様式が成分移動に及ぼす影響についてさらに研究を発展させることが期待される。

- (8) 低温で乾燥した未加熱の塩漬魚肉中の水分と NaCl の不均一な分布は魚肉内部の水分活性に影響を及ぼすことが考えられる。このことは、魚肉の貯蔵性との関連できわめて重要である。そこで、塩漬乾燥魚肉の表層部と中心部の水分活性を比較検討した。その結果を図10に示した。図10中には塩漬乾燥魚肉を低温で貯蔵した場合の魚肉内部の水分活性の変化も合わせて示した。これによると、魚肉の水分活性は塩漬と乾燥により大きく低下するが、塩漬乾燥魚肉では、乾燥時間にかかわらず魚肉中心部の水分活性は、表層部のそれよりも著しく高いことが示されている。この乾燥魚肉を24時間、4℃で貯蔵すると、表層部の水分活性がやや上昇し、中心部のそれはやや低下する傾向が見られ、その結果として、表層部と中心部の水分活性の差が小さくなることが示された。これらの結果は、塩漬乾燥魚肉の内部の水分活性を調節して魚肉の貯蔵性を高めるために、きわめて重要であると考えられる。

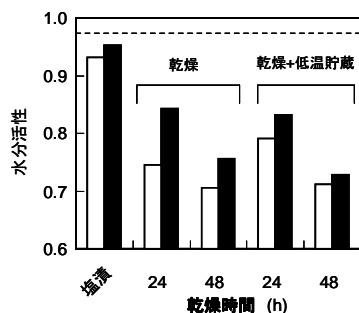


図10 塩漬、乾燥および低温貯蔵による魚肉内部の水分活性の変化  
表層部(○) 中心部(●)  
破線は未塩漬魚肉の水分活性を示す

魚肉表層部と中心部の水分活性と水分量または NaCl 含量との関係を検

討した結果を図11に示した。これによると魚肉の表層部と中心部の水分活性は、魚肉の水分量の減少と NaCl 含量の増加に強く依存して低下することが確認された。したがって、魚肉内部の水分量と NaCl 含量を調節することが、水分活性を均一にするうえできわめて重要であると考えられた。

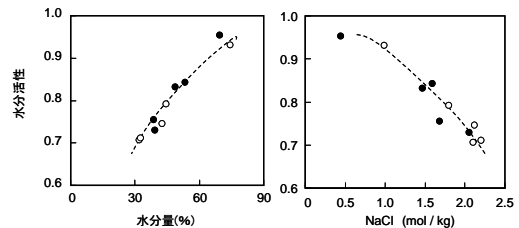


図11 塩漬、乾燥及び低温貯蔵魚肉内部の水分活性と水分量または NaCl 含量との関係  
(○)表層部 (●)中心部

- (9) 以上述べたように、本研究では乾燥にともなう魚肉内部の成分移動に注目し、乾燥の進行との関係を検討した。その結果、塩漬魚肉中の NaCl 含量の増加にともなう魚肉内部に形成される NaCl の濃度勾配により、魚肉中心部から表層部への水分移動が促進され、その結果として塩漬魚肉では未塩漬魚肉よりも乾燥が速やかに進行することを示唆した。また、SEM-EDS を生物試料に初めて応用し、魚肉中の微小範囲における NaCl の分散を、連続的に解析できることを示した。さらに、乾燥にともなう魚肉内部の成分移動に及ぼす乾燥温度および加熱処理の影響を検討した。その結果、魚肉中の水分と NaCl の移動が乾燥温度の上昇と加熱処理により促進されることから、それらは魚肉中の筋原繊維タンパク質の変性の進行と密接にかかわることを示唆した。低温乾燥中に進行する NaCl と水分の緩やかな内部移動は乾燥品内部のそれらの分布に影響を及ぼし、水分活性を変動させることを示した。これらの結果は、従来魚肉全体の水分量と NaCl 含量から考察されていた魚肉乾燥品の品質制御に新たな視点を提供するものである。しかしながら、このような乾燥魚肉中の水分と NaCl の分散が、その呈味と物性に及ぼす影響については、さらに詳細な研究が必要である。

水産加工品のうち、ねり製品などは相対的に均質な成分分散系と考えられるが、切り身やフィレーを原料とする多くの加工品では、成分分散は不均一であると考えられる。それゆえ、本研究の成果を土台として、乾燥品以外

の加工品についても魚肉内部の成分分布と品質との関連に関する研究を進展させることが大いに期待される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 大泉 徹, 舊谷亜由美, 水産物の貯蔵・加工にともなう魚肉内部の成分移動と加工品の品質, 食品加工技術, 33, 2013, 25-37.

[学会発表] (計 7 件)

- ① T. Ooizumi, M. Kato, A. Muramatsu, M. Matsukawa, Y. Kinoshita, Internal moisture migration accompanied with dehydration of fish meats as affected by salting and heat-treatment, Annual Meeting of Institute of Food Technologists, 2013 年 7 月 14 日, Chicago, USA.
- ② 大泉 徹, 加藤正樹, 松川雅仁, 木下康宣, NaCl 含量が異なる塩漬魚肉の乾燥にともなう水分と NaCl の内部移動, 平成 24 年度水産利用関係研究開発推進会議利用加工技術部会研究会, 2012 年 11 月 14 日, (独)水産総合研究センター中央水産研究所 (横浜市)
- ③ 大泉 徹, 加藤正樹, 松川雅仁. 魚肉の乾燥の進行と魚肉内部の水分移動に及ぼす食塩含量の影響. 平成 24 年度日本水産学会秋季大会, 2012 年 9 月 16, (独)水産大学校 (下関市).
- ④ 大泉 徹, 木下康宣, 舊谷亜由美, 加藤正樹. SEM-EDS による塩漬魚肉の乾燥にともなう食塩の分散過程の解析. 日本食品科学工学会第 59 回大会, 2012 年 8 月 30 日, 藤女子大学 (札幌市).
- ⑤ 大泉 徹. 魚肉タンパク質加工品の物性. 第 23 回食品ハイドロコロイドシンポジウム, 2012 年 5 月 25 日, 日本教育会館 (東京都).
- ⑥ 大泉 徹, 美濃羽省吾, 加藤正樹, 松川雅仁. 魚肉の乾燥速度と魚肉内部の水分移動に及ぼす NaCl の影響. 平成 23 年度水産利用関係研究開発推進会議利用加工技術部会研究会, 2011 年 11 月 15 日, (独)水産総合研究センター中央水産研究所 (横浜市).
- ⑦ 塩漬魚肉の乾燥にともなう魚肉内部の水分移動. 大泉 徹, 美濃羽省吾, 松川雅仁. 平成 23 年度日本水産学会秋季大会, 2011 年 10 月 1 日, 長崎大学 (長崎市).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

大泉 徹 (OOIZUMI TOORU)  
福井県立大学・海洋生物資源学部・教授  
研究者番号: 20254245

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号:

##### (4) 研究協力者

木下康宣 (KINOSHITA YASUNORI)  
北海道立工業技術センター