

# わかめ加工技術開発モデル事業

## 閉鎖型施設によるワカメ乾燥試験

廣澤 晃

灰に替わる塗布材として活性炭を用いた新しい乾燥糸ワカメの生産が始まっているが、その加工過程では、乾燥工程での塗布材の飛散防止や洗い工程での塗布材の回収など、環境負荷の軽減が課題として残っている。

このため、環境に配慮した加工技術の確立を図るための一環として、乾燥工程での塗布材の飛散を軽減することを目的に、閉鎖型の簡易施設を用いてワカメの乾燥試験を行い、その乾燥度合い、塗布材の飛散の程度等を検討したのでその結果を報告する。

### 材料と方法

平成12年3月21～26日（第1回試験）及び4月11～14日（第2回試験）に、閉鎖型乾燥施設（ビニールハウス）を用いて乾燥試験を行った。

乾燥施設は、幅2.0m、長さ8.0m、高さ2.4m、内容積35m<sup>3</sup>のビニールハウスで、吸気口（40×40cm）及び排気口（同）を前後面に1箇所づつ設けた。排気口には空調のためのファン（φ80cm、フルタビッグファン）1台を設置した。

また、ハウス内側のファン前面には、塗布材の飛散防止フィルターとして網目53μmのメッシュの布を5方向面（上・下・左・右・前面/4m<sup>2</sup>）から取り付けた。

なお、比較のための屋外での乾燥は、ハウス南側の日当たりと風通りの良い場所に、地面から10cm程度の間隙を施したネット上で行った。（写真1,2）

乾燥試験は、第1回試験は、フィルターを取り付けずに行い、ワカメ試料は鋼製パイプに二つ折りで1本づつ吊した。ハウス内に持ち込んだ試料重量は原藻重量で47.2kg（CASE1-31.2kg, CASE2-6.0kg, CASE3-10.0kg）であった。

第2回試験は、フィルターを取り付けて行い、ワカメ試料基部を1本づつピンチで挟んで約10cm間隔で吊した。用いた試料重量は66.6kg（CASE4-26.9kg, CASE5-39.7kg）であった。

試験中は第1回、2回試験とも夜間も吸気口を閉ざさず、常時ファンを稼働させ空調を行った。屋外乾燥では、夜間及び雨天時は試料を室内に取り込んだ。

また、撒水器で毎日夕刻に1回水打ちし、散布水（海水）の滴が落ちない程度に試料表面を湿らせた。

塗布材には、生産現場で使用されている活性炭（K：クラレ社製、DS：武田薬品工業社製、D：同左）と比較のために従来の草木灰を用いた。

なお、塗布材の粒径組成は、蒸留水100mlに塗布材0.1gを入れ3分間攪拌後、適当量をスライドガラスに拡げて撮影した顕微鏡写真を画像解析ソフトで測定した値（円径相当）で代用した。

ワカメ試料の乾燥度合いの指標値としては、水分含有率を用いた。水分含有率の測定は、赤外線水分計（Kett科学研究所製FD-620）で乾燥温度110℃、測定終了を1分間の水分率の変動幅が0.1%の条件に設定して、試料の先端部、中央部、基部の3部位（中肋部を含む）を測定し、その平均値として求めた。

乾燥時の湿度と温度の推移は、ハウス内の3箇所（排気口前面No.2、中央下部No.3、中央上部No.4）及びハウス外側の吸気口直下（No.1）に湿度・温度計（SK-L200TH佐藤計量器製作所製）を設置し連続測定した。また、ハウス外側の排気口に風量計（CW-50カスタム製）を設置し、ハウス内部の換気状況の参考とした。（図1）

塗布材の飛散の程度は、ハウス内に落下した塗布材の回収率から推測した。

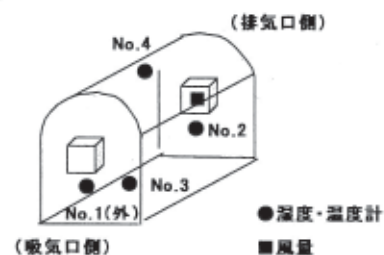
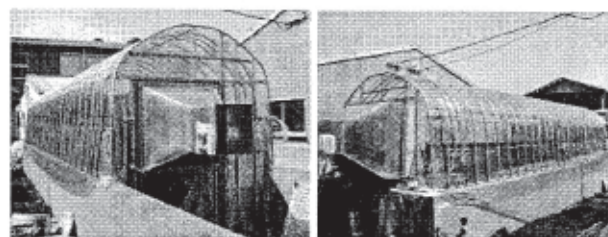


図1 湿度・温度計、風量計設置位置



乾燥施設外観(吸気口側)

乾燥施設外観(排気口側)



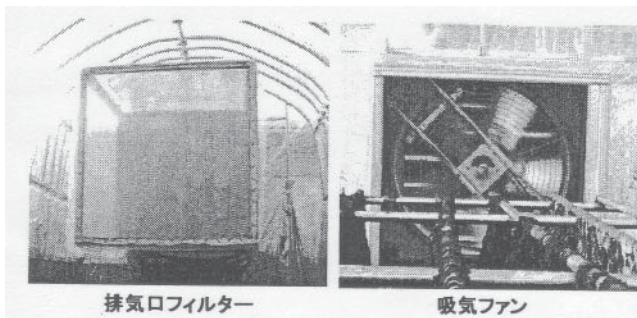


写真1 乾燥施設概要

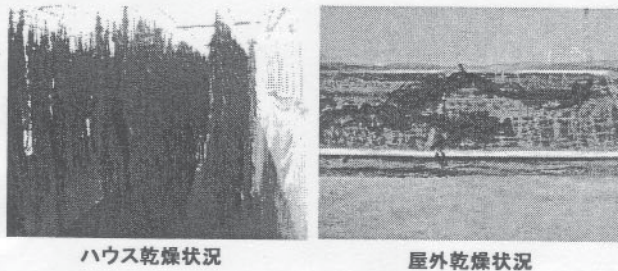


写真2 乾燥状況

### 結果及び考察

#### 1 塗布材の性状

用いた塗布材の粒径は、活性炭Kが平均 $3.1\mu\text{m}$  ( $0.6\sim 85.3$ , SD5.2), 同DSが平均 $3.6\mu\text{m}$  ( $0.6\sim 70.7$ , SD4.9), 同Dが平均 $21.3\mu\text{m}$  ( $3.2\sim 461.2$ , SD42.0), 灰が平均 $9.9\mu\text{m}$  ( $1.3\sim 340.1$ , SD18.1)であった。(図2, 写真3)

また、水分含有率は、活性炭K-7.5%, DS-3.0%, D-9.5%, 灰-7.3%であった。

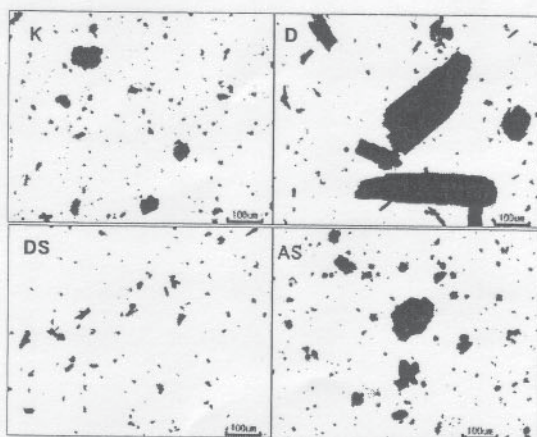


写真3 塗布材写真

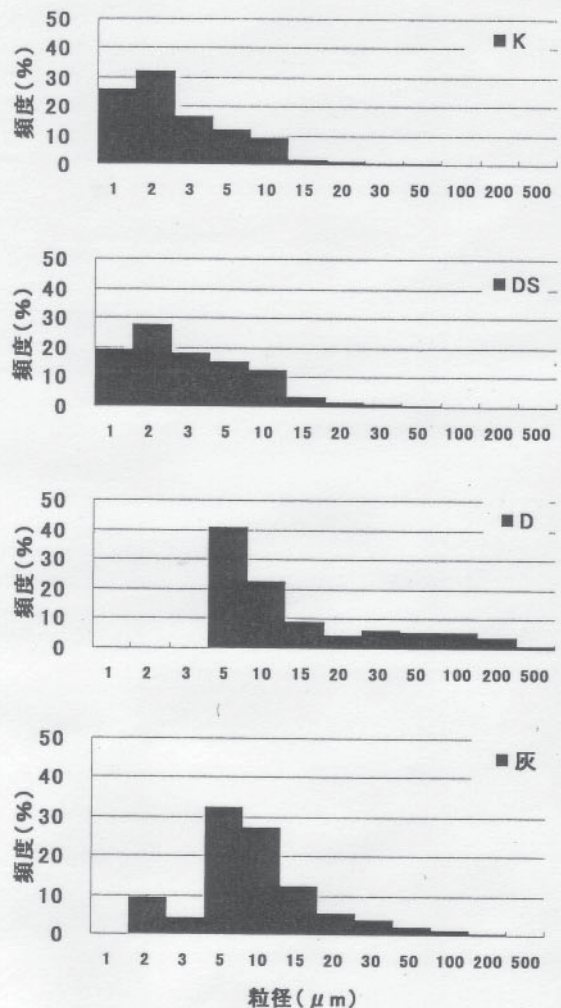


図2 塗布材の粒径分布

#### 2 乾燥試験結果

乾燥試験では、塗布材を施した直後のワカメ試料の水分含有率を求め、各試験時の初期の値として代用した。塗布材別の水分含有率は、活性炭K=83.6%, 同D=85.9%, 同DS=81.8%, 同DDS (DS:D=1:1)=82.7%, 灰=83.0%, 原藻=87.2%であった。

第1回乾燥試験のCASE1では、塗布材の種類(活性炭, 灰)とその有無(原藻)を比較した。活性炭K(測定サンプル数 $n=12$ )の水分含有率の推移は、1日目(25h後)に平均20.3% (16.1~29.0), 2日目(52h後)に同14.4% (11.8~18.7), 3日目(71h後)に同11.3% (9.5~12.7)であった。灰( $n=2$ )は、1日目(24h後)に平均21.8% (13.6~30.1), 2日目(52h後)に14.0%, 3日目(73h後)に同11.4%であった。原藻( $n=3$ )では、1日目(22h後)に52.2%, 2日目(53h後)に平均16.2% (12.9~19.5), 3日目(73h後)に同11.8%であった。

塗布材として用いた活性炭と灰の違いによる乾燥速度の差は殆どなかった。原藻では、塗布材を施した試料に比べて水分含有率が高目に推移し、やや乾燥が遅かった。(図3)



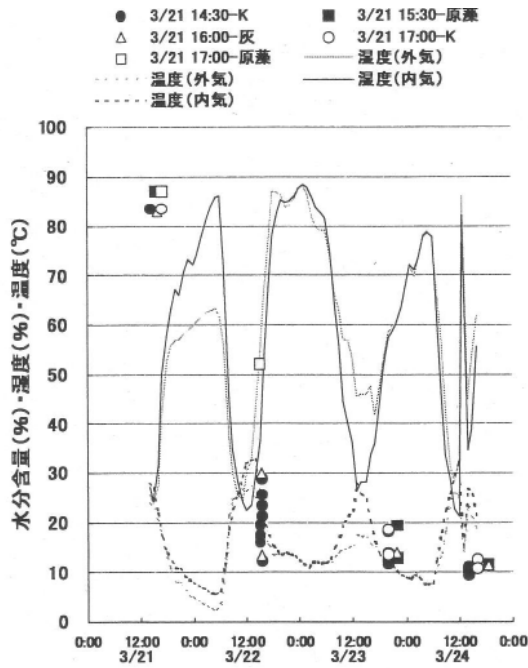


図3 試料中の水分含量の推移(CASE1)

CASE2では、ハウスと屋外乾燥を比較した。ハウス乾燥の活性炭K (n=2) の水分含有率の推移は、初日 (10h後) に55.2%，1日目 (34h後) に平均17.9% (13.7~22.1)，2日目 (54h後) に同14.9% (14.6~15.1)，4日目 (103h後) に同12.1% (11.9~12.4) となった。原藻 (n=1) は、初日 (9h後) に48.0%，1日目 (35h後) に23.8%，2日目 (56h後) に12.5%となった。屋外乾燥の活性炭K (n=1) は、初日 (10h後) に43.2%，1日目 (34h後) に13.7%，2日目 (55h後) に13.8%，4日目 (103h後) に11.7%となった。原藻 (n=1) は、初日 (9h後) に36.6%，1日目 (35h後) に14.7%，2日目 (52h後) に12.0%となった。屋外乾燥の方がハウス乾燥に比べて、水分含有率が低めに推移し乾燥は速かった。なお、試験3日目は降雨により日中の湿度が100%近くあり、試料表面が湿潤状態であったため、一部試料は翌日4日目に回収した。(図4)

CASE3では、活性炭Kと別規格の活性炭として活性炭D及び同DSを試した。試料の水分含有率の推移は、活性炭D (n=2) では、1日目 (27h後) に平均27.9% (25.1~30.6)，2日目 (47h後) に同16.1% (13.7~18.4)，4日目 (96h後) に同10.9% (10.8~11.1) であった。活性炭DS (n=2) では、1日目 (26h後) に平均30.4% (24.1~36.6)，2日目 (47h後) に同16.8% (13.5~20.1)，4日目 (96h後) に同11.7% (11.1~12.4) となり、DとDSの乾燥速度の違いはほとんどなかった。なお、活性炭Dは粒径が荒く、塗布時の付けむらが生じることから、生産現場では粒径の細かいDS規格との混合で使用されている。(図5)

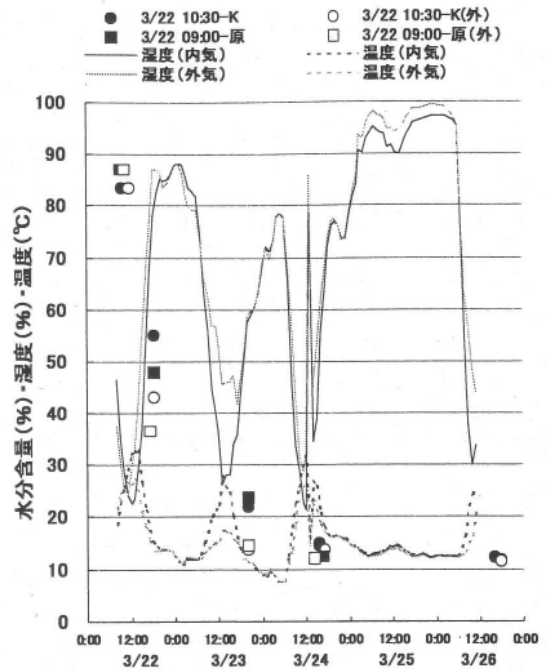


図4 試料中の水分含量の推移(CASE2)

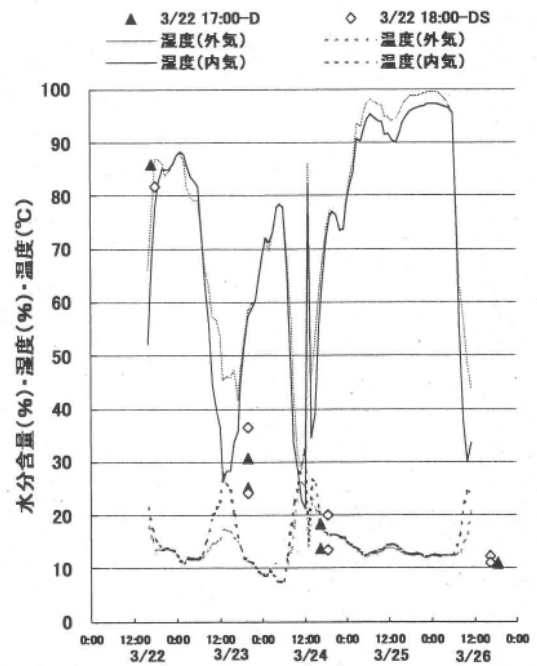


図5 試料中の水分含量の推移(CASE3)

第2回乾燥試験のCASE4では、CASE2と同様にハウスと屋外乾燥の比較を再度行った。ハウス乾燥の活性炭K (n=1) の水分含有率の推移は、1日目 (26h後) に35.7%，2日目 (48h後) に14.6%，3日目 (73h後) に14.5%となった。屋外乾燥の活性炭K (n=1) は、1日目 (26h後) に32.8%，2日目 (48h後) に13.2%，3日目 (73h後) に12.0%となった。ハウス乾燥と屋外乾燥の乾燥速度の差は殆どなかった。(図6)

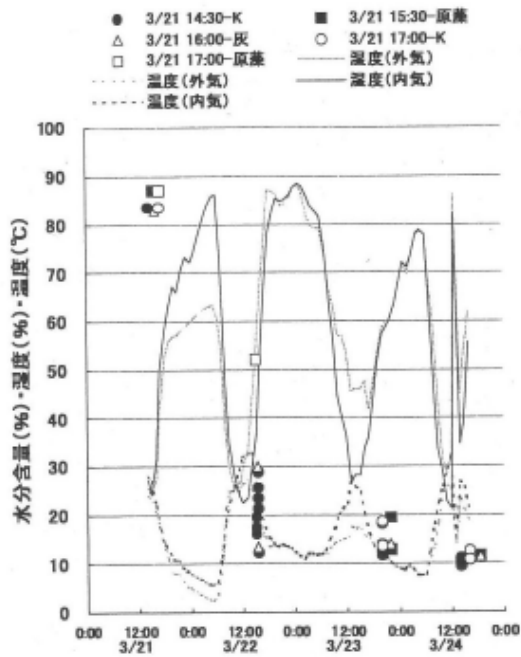


図3 試料中の水分含量の推移 (CASE1)

CASE2では、ハウスと屋外乾燥を比較した。ハウス乾燥の活性炭K (n=2) の水分含有率の推移は、初日 (10h後) に55.2%, 1日目 (34h後) に平均17.9% (13.7~22.1), 2日目 (54h後) に同14.9% (14.6~15.1), 4日目 (103h後) に同12.1% (11.9~12.4) となった。原藻 (n=1) は、初日 (9h後) に48.0%, 1日目 (35h後) に23.8%, 2日目 (56h後) に12.5%となった。屋外乾燥の活性炭K (n=1) は、初日 (10h後) に43.2%, 1日目 (34h後) に13.7%, 2日目 (55h後) に13.8%, 4日目 (103h後) に11.7%となった。原藻 (n=1) は、初日 (9h後) に36.6%, 1日目 (35h後) に14.7%, 2日目 (52h後) に12.0%となった。屋外乾燥の方がハウス乾燥に比べて、水分含有率が低めに推移し乾燥は速かった。なお、試験3日目は降雨により日中の湿度が100%近くあり、試料表面が湿潤状態であったため、一部試料は翌日4日目に回収した。(図4)

CASE3では、活性炭Kと別規格の活性炭として活性炭D及び同DSを試した。試料の水分含有率の推移は、活性炭D (n=2) では、1日目 (27h後) に平均27.9% (25.1~30.6), 2日目 (47h後) に同16.1% (13.7~18.4), 4日目 (96h後) に同10.9% (10.8~11.1) であった。活性炭DS (n=2) では、1日目 (26h後) に平均30.4% (24.1~36.6), 2日目 (47h後) に同16.8% (13.5~20.1), 4日目 (96h後) に同11.7% (11.1~12.4) となり、DとDSの乾燥速度の違いはほとんどなかった。なお、活性炭Dは粒径が荒く、塗布時の付けむらが生じることから、生産現場では粒径の細かいDS規格との混合で使用されている。(図5)

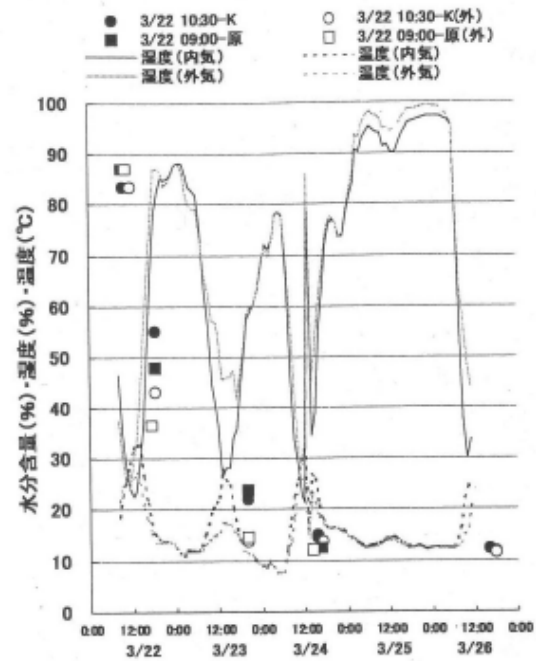


図4 試料中の水分含量の推移 (CASE2)

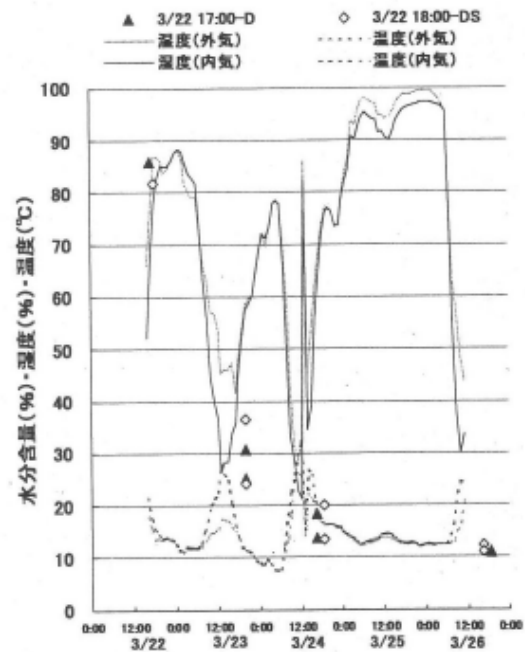


図5 試料中の水分含量の推移 (CASE3)

第2回乾燥試験のCASE4では、CASE2と同様にハウスと屋外乾燥の比較を再度行った。ハウス乾燥の活性炭K (n=1) の水分含有率の推移は、1日目 (26h後) に35.7%, 2日目 (48h後) に14.6%, 3日目 (73h後) に14.5%となった。屋外乾燥の活性炭K (n=1) は、1日目 (26h後) に32.8%, 2日目 (48h後) に13.2%, 3日目 (73h後) に12.0%となった。ハウス乾燥と屋外乾燥の乾燥速度の差は殆どなかった。(図6)

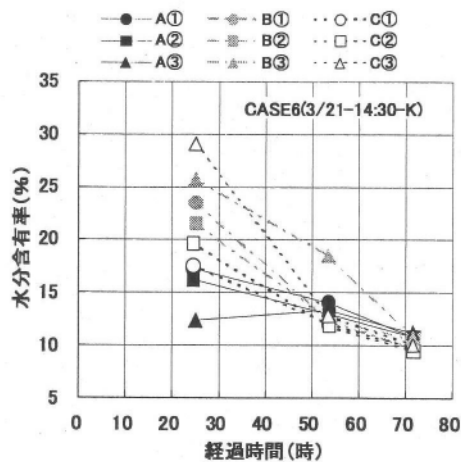


図13 ハウス内場所別乾燥度合1

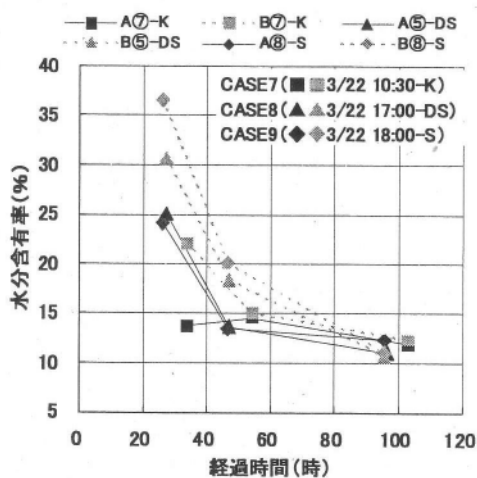


図14 ハウス内場所別乾燥度合2

次に、排気口の風量からハウス内の空気の交換状況を見ると、飛散防止フィルターを取り付けずに行った第1回試験では、乾燥試験中の風量は平均 $33.9\text{m}^3/\text{分}$  (16.9~63.8)であった。また、フィルターを取り付けた第2回試験では、平均 $26.0\text{m}^3/\text{分}$  (10.2~50.1)であった。ただし、乾燥開始後48hまでの風量は平均 $31.8\text{m}^3/\text{分}$  (10.9~50.1)、以後24hは同 $15.2\text{m}^3/\text{分}$  (10.2~27.3)で推移した。ハウス内の空気の交換率を風量とハウス容積から単純計算すると1~0.4回/分となった。

飛散防止フィルターを取り付けたケースでは、乾燥開始後2日目当たりからハウス内に飛散する活性炭によるフィルターの目詰りでファンの吸気量は半減した。しかし、前述のハウス内での湿度、温度の推移からみる限り、ハウス内への外気の取り込みは十分であったと思われる。

なお、今回設置した空調ファンの能力は、風量が最大 $100\text{m}^3/\text{分}$  (60Hz)程度であり、試験時のファンの設定(風量約 $30\text{m}^3/\text{分}$ -20.8Hz)からみると十分余裕があった。(図15~17、写真4)

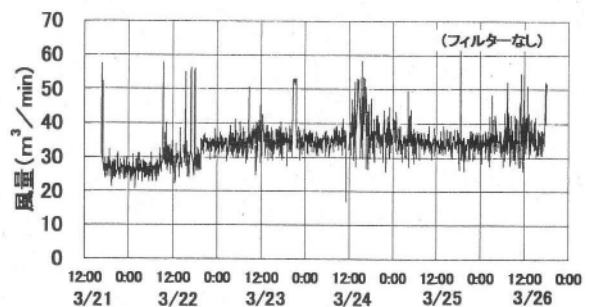


図15 ハウス排出口風量の推移(第1回試験)

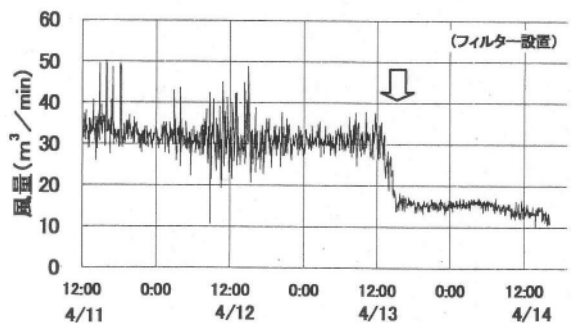


図16 ハウス排出口風量の推移(第2回試験)

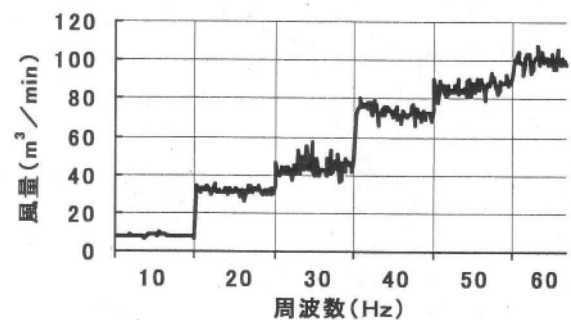


図17 空調ファンの能力(風量-周波数関係)

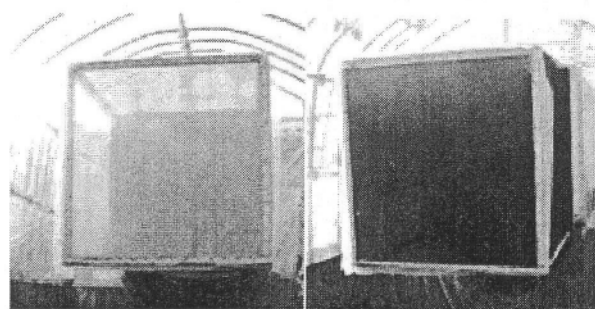


写真4 飛散防止フィルターの状況

(塗布材の付着による目詰状況)



58.6% (21.0~90.4), 同温度は17.0°C (6.1~31.9), 中央下部 (No.3) の湿度の平均値は, 57.4% (24.3~87.8), 同温度は16.9°C (6.9~31.1), 中央上部 (No.4) の湿度の平均値は, 57.5% (15.4~95.5), 同温度は19.6°C (4.7~48.1) であった。ハウス内天井の中央上部では, 他の場所に比べて湿度, 温度とも変動が大きく, 特に日中は温度が50°C近くまで上昇した。(図8~11)

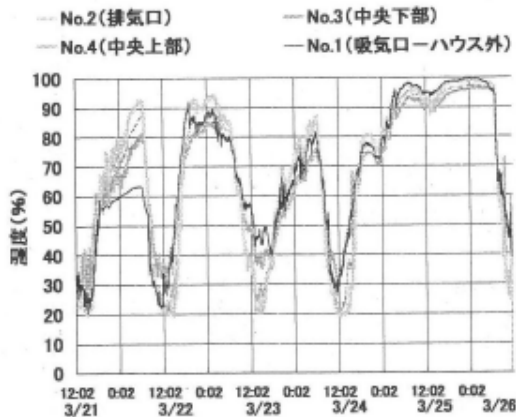


図8 ハウス内・外気湿度の推移  
(第1回乾燥試験)

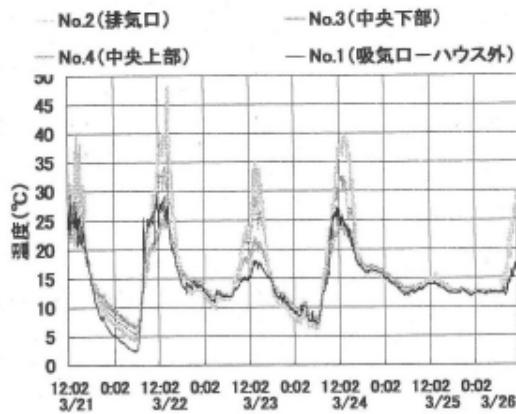


図9 ハウス内・外気温度の推移  
(第1回乾燥試験)

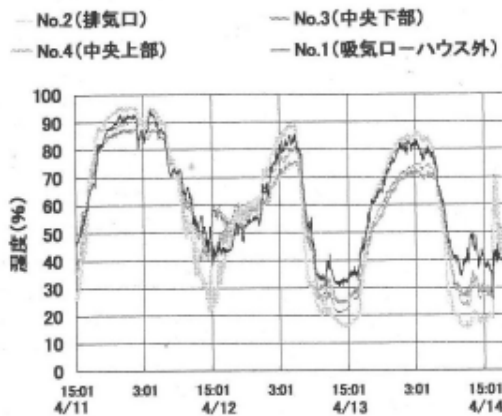


図10 ハウス内・外気湿度の推移  
(第2回乾燥試験)

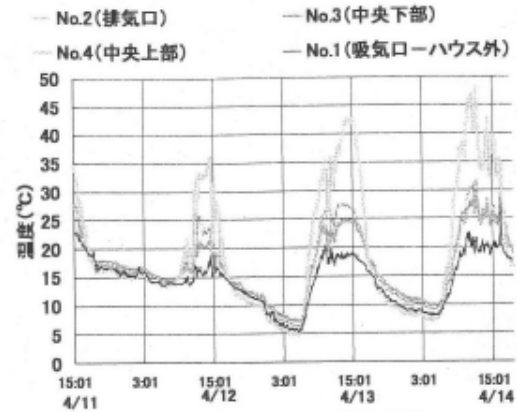


図11 ハウス内・外気温度の推移  
(第2回乾燥試験)

一方, ハウス内の場所別の乾燥状況をA, B, Cブロック (図12) に分けてみると, 乾燥開始後の経過時間毎の水含有率の推移は, CASE6 (3/21-14:30-K) では, Aブロックで, 25h後平均15.2% (12.3~17.3), 54h後13.5% (13.0~14.1), 72h後11.0% (10.8~11.2), Bブロックでは, それぞれ23.6% (21.5~25.7), 14.4% (12.3~18.4), 10.4% (9.8~10.8), Cブロックでは22.0% (17.5~29.0), 12.0% (11.8~12.8), 9.8% (9.5~10.0) であった。CASE7 (3/22-10:30-K) では, Aブロックで, 33h後13.7%, 54h後14.6%, 103h後11.9%, Bブロックでは, それぞれ22.1%, 15.1%, 12.4%であった。CASE8 (3/22-17:00-D) では, Aブロックで, 27h後25.1%, 47h後13.7%, 97h後11.1%, Bブロックでは, それぞれ30.6%, 18.4%, 10.8%であった。CASE9 (3/22-18:00-DS) では, Aブロックで, 26h後24.1%, 47h後13.5%, 96h後12.4%, Bブロックでは, それぞれ36.6%, 20.1%, 11.1%であった。

吸気口側 (Aブロック) が中央部 (同B), 排気口側 (同C) に比べて乾燥が速かった。また, ハウスの吸気口と排気口を結ぶラインにかけてのハウス中央部の乾燥が速く, 場所による乾燥速度の差がみられた。しかし, 今回の試験でハウス内に持ち込んだ原薬量程度では, ハウス内部の空気を循環させるなどの対策までは必要なかったように思われる。(図13, 14)

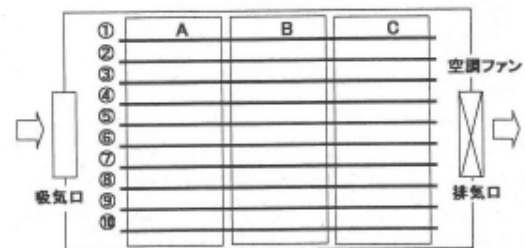


図12 ハウス内乾燥場所平面図

#### 4 塗布材の飛散防止効果

飛散防止フィルターを取り付けずに行った第1回乾燥試験では、8.2kgの塗布材を使用し、ハウス内に落下した塗布材を4.5kg回収した。その結果、ワカメの乾燥に伴い落下した塗布材のハウス内回収率は55%となった。

また、フィルターを取り付けた第2回試験では、塗布材の使用量5.5kg、回収量3.4kgで、回収率62%であった。なお、塗布材の数値は、前述の水分計で水分率（110℃—変動率0.1%）を測定し、水分を除去した後の塗布材量である。（写真5）

閉鎖型のハウスを用いることによる塗布材の飛散防止効果については、ワカメに付着したままの塗布材を考慮すると使用した塗布材の大部分が回収されたと考えられ、塗布時の飛散や、ワカメへの付着量など、回収率の推定方法に問題が残ったが、その効果は十分認められた。

また、飛散防止フィルターの効果については、実測値はないものの、フィルターを取り付けた場合は、排気口からの塗布材の飛散は殆ど認められなかった。

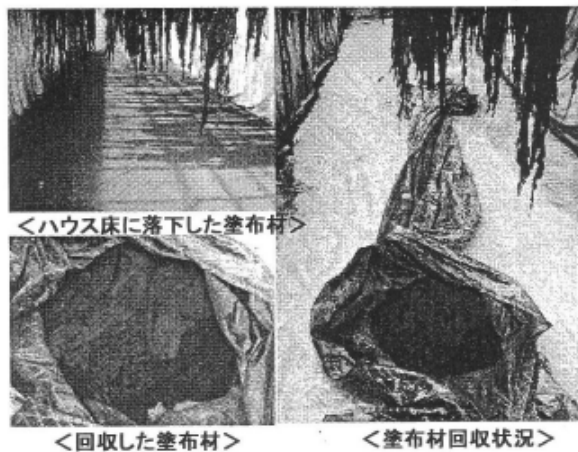


写真5 塗布材回収状況