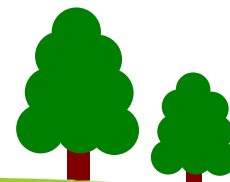


バッチ式箱型積層通風乾燥機を高効率化させる オペレーション手法の開発・実証



1. 目的・理念

■背景

- 地域内エコシステムでは、小規模な熱利用や熱電併給設備等が必要
- 小規模システムの安定稼働には、燃料品質の安定が重要。特にガス化発電では水分15%W.B.以下が要求されるものの、国内では乾燥チップは流通していない。
- 堆積した湿潤チップの上下方向に温風を通して乾燥するバッチ式箱形積層通風乾燥機は、構造がシンプルで乾燥操作も簡便、さらにチップの粉化や騒音が少ない利点を有し、小型乾燥機として有用なシステムと評価できる。
- しかしいったん通気路ができれば、同じ経路を通りやすくなることで通気路ネットワークに偏りが起こることや、温風が当たった順に乾いていくことによる通気方向の水分分布に大きな傾きがあることが効率に影響を及ぼす。
- また更に細胞壁内の水の移動速度が、自由水に比べて遅いことにより、乾燥プロセスは前期と後期に違いがあることを考慮する必要がある。
- 乾燥プロセスの後期に見られる乾燥効率の低下は、乾燥エネルギーの無駄な消費や乾燥所要時間の延長などに関係するため、低コストの乾燥チップ製造の実現には改善が必要である。

■目的

- 本事業では、バッチ式箱型積層通風乾燥機の基本構造・構成を変更せずに、「乾燥効率向上」と「水分の均等化」に繋がる操業方法の改善策を開発・実証する。

※乾燥効率 = $\frac{\text{出口通気的水分} - \text{入口通気的水分}}{\text{乾燥機入口に投入されたエネルギー}} \times (\text{水の潜熱})$

2. 実施概要 (バッチ式箱型積層通風乾燥機の比較試験①)

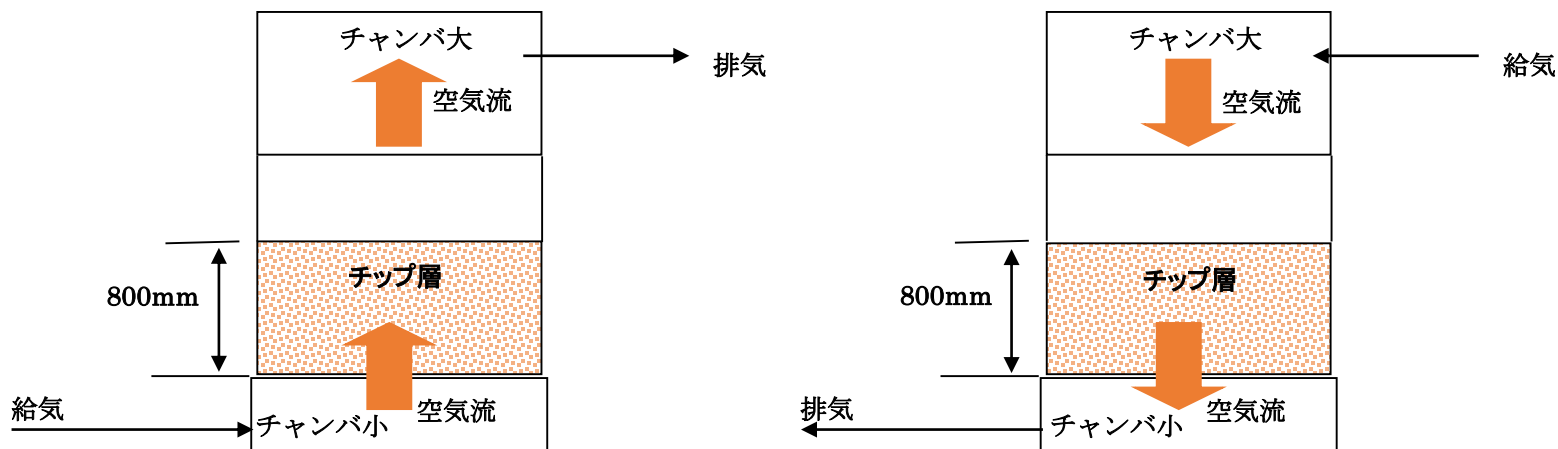
問題: チップは乾燥機内の各部位において、水分の偏りが生じる。

原因: 過去に経験したチップ乾燥試験装置では、チップ層への乾燥用空気の入口チャンバ(空気室)が小さく、チャンバへの乾燥用空気が流入する流速と方向の影響を大きく受ける構造であった。

対策: 各部における流速と通気抵抗の均等化

具体的に: 乾燥機内の空気流速を均一にする → 乾燥空気の入口チャンバを大きくする

手法: 本試験装置は上下のチャンバの大きさが違うため、通風の向きを変えて比較する。



2. 実施概要 (バッチ式箱型積層通風乾燥機の比較試験②)

問題: 乾燥運転の後期において、乾燥用空気が**熱エネルギーを残したまま排気**される

原因: 乾燥運転の間、**送風機の風量が一定**であること

対策: 通気出口の**湿度による通気量調整**

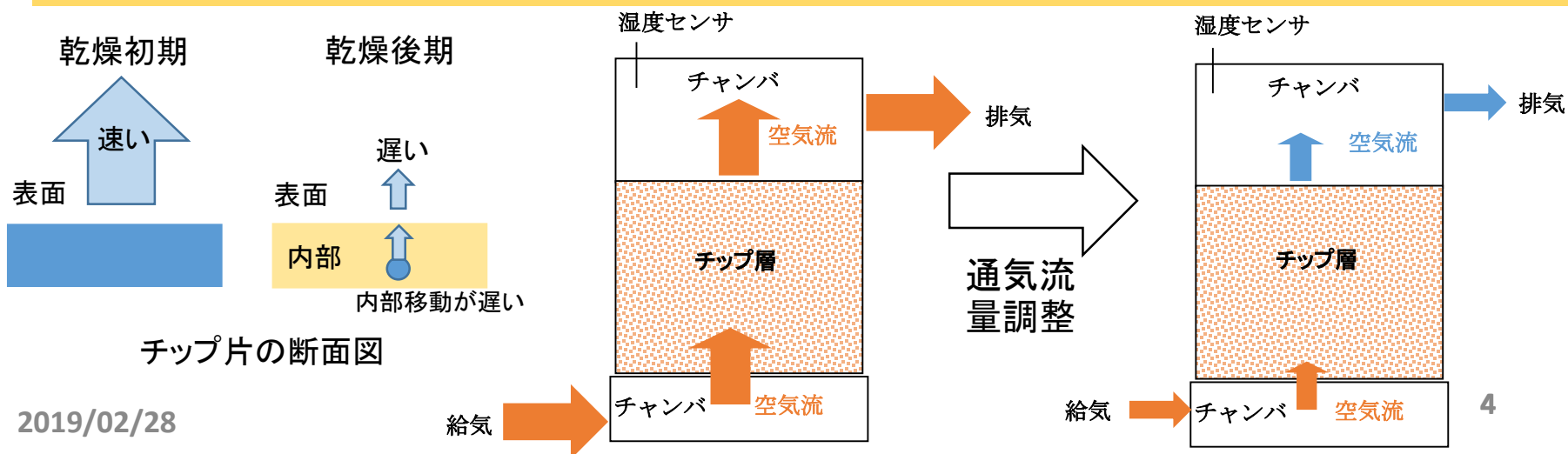
具体的に: 通気出口が**高い湿度を維持**するように**通気量を減らす**操作を行う

- チップ層を抜ける空気流速が落ちる → チップ内部の水分が表面に出る速度と適合する
- 熱エネルギーを有効に使い切る

手法: 通気量の低下には**送風機の回転数をインバータにより調整**する。

排気循環による通気量制御

湿度の敷居値は、95%と90%の2パターンで試験



2. 実施概要 (バッチ式箱型積層通風乾燥機の比較試験③)

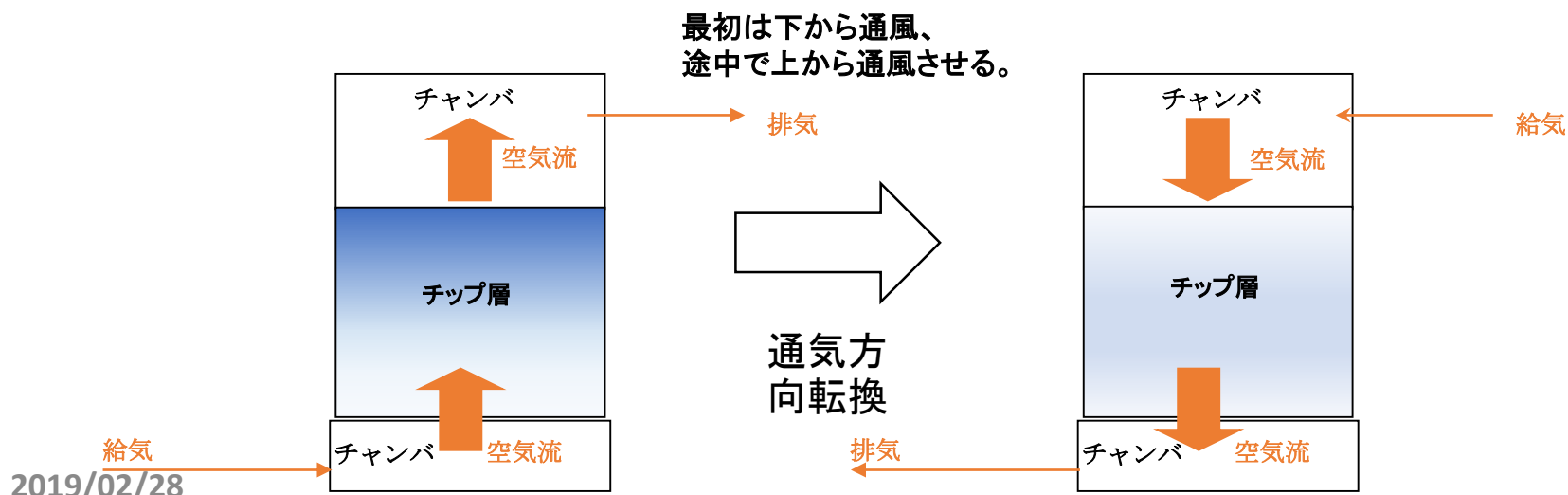
問題: 乾燥用空気の給気側からチップの乾燥が進行することになるが、排気側のチップの水分が目標到達時には、**給気側のチップが過乾燥状態**になっている。

原因: 給気の方から先行して、チップが乾燥するため

対策: 乾燥途中の通気逆転

具体的に: 乾燥運転の途中で**入口と出口の乾燥空気の流れる方向を逆**にして、給気側のチップの過乾燥を和らげるとともに、乾燥時間を短縮する

手法: 垂直方向最適な位置の温度が、平衡状態から上昇に転じた時に通気方向を転換する。



2. 実施概要 (バッチ式箱型積層通風乾燥機の比較試験④)

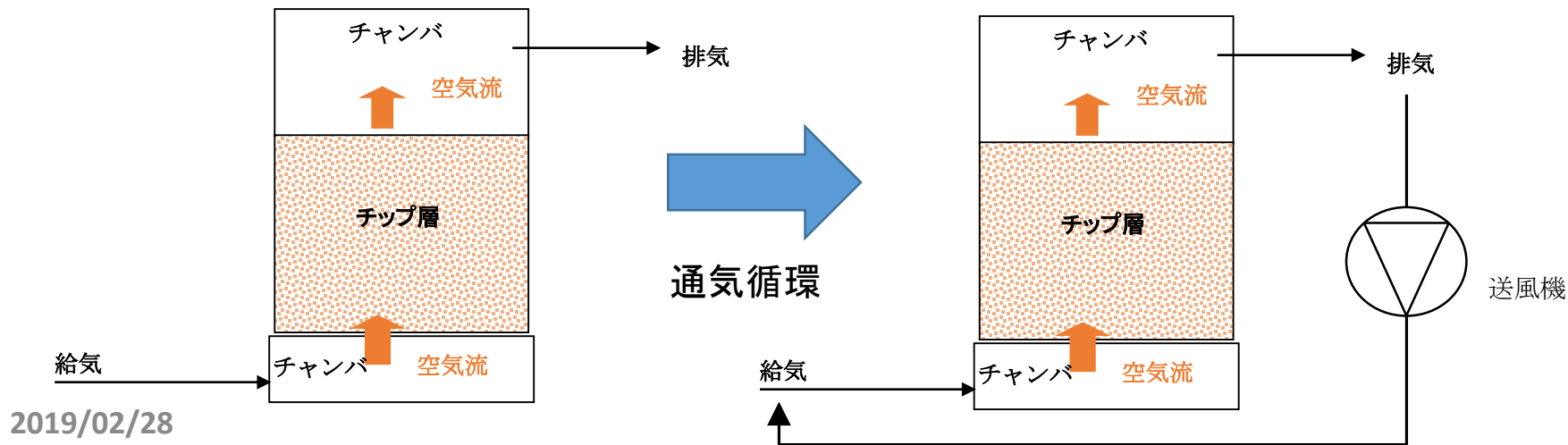
問題: 乾燥運転後のチップの水分に偏りがある

原因: チップ層内で均等に乾燥が行われていない

対策: チップ間の水分移動

具体的に: チップの粒子同士の水分移動を促して、全体の水分の偏りをなくすプロセスを、吸気の加温をしない場合と、間欠でする場合において、排気を送風機入口に接続して循環させる。

手法: 乾燥過程の最後に循環通気を続けて、効果を測定する。



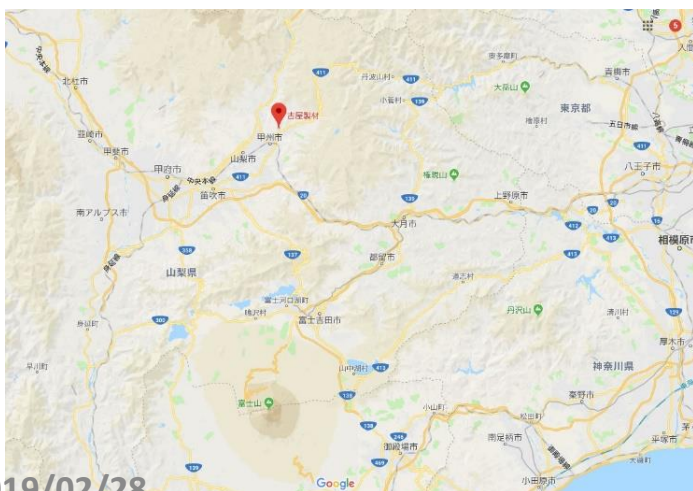
2. 実施概要（各対策の組み合わせによる試験の実施）

本事業では、下記の組み合わせで試験を実施した。
試験を進めながら比較する項目を選んだ。

	乾燥試験			乾燥後の試験
	入口空気室	通気量制御	通気逆転	水分均等化
No1	小	なし	なし	なし
No2	大	なし	なし	下向き無加熱
No3	小	なし	なし	なし
No4	大	なし	なし	上向き加熱
No5	大	なし	あり	下向き無加熱
No6	小	あり	なし	なし
No7	大	あり	なし	なし
No8	大	なし	あり	なし

3. 実施場所

試験場所: 山梨県甲州市塩山
チップ工場跡地に試験機を設置して実施



2019/02/28

出典: google map



4. 試験の実施状況



試験装置全景



乾燥機内部



乾燥機の底板



切削チップ



チップの投入

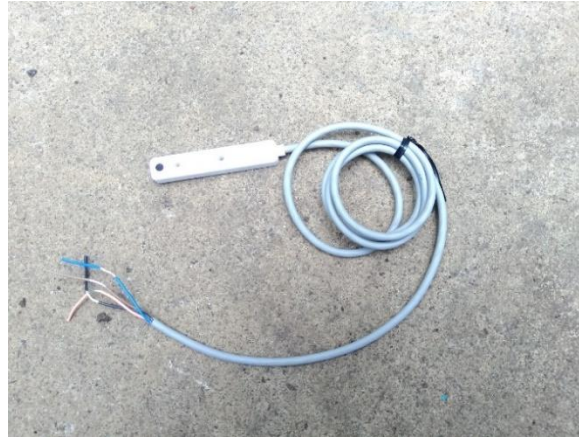


投入後のチップ

4. 試験の実施状況



ロードセル



湿度センサ



熱電対



温湿度ロガー



恒温器と電子天秤

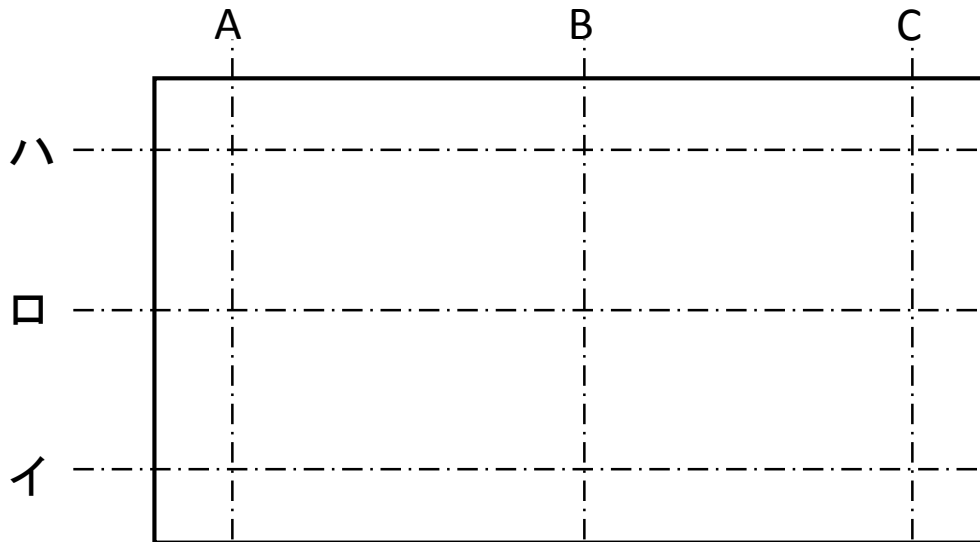


ジェットヒータと送風機

4. 試験の実施状況

各センサの設置位置（試験内容により数点を選択する）

平面図



装置寸法(内側)

W2,000mm × D1,600mm
× H2,500mm

チップの水分

開始: 約48%WB

終了: 10%WB(重量で判断)

樹種: 針葉樹

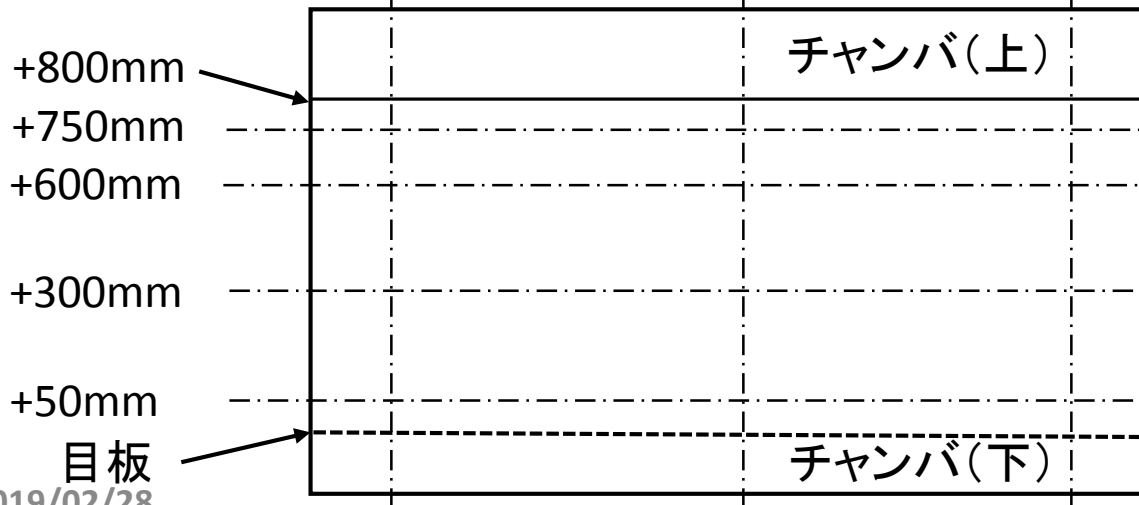
温風条件

温度: 40°C程度

風量: 58m³/min程度

空塔速度: 0.3m/s

立面図



測定項目

温度: 大気、温風、装置入口、
装置出口、各部のチップ表面、
各部の通気

湿度: 大気、装置入口、装置出
口、各部の通気

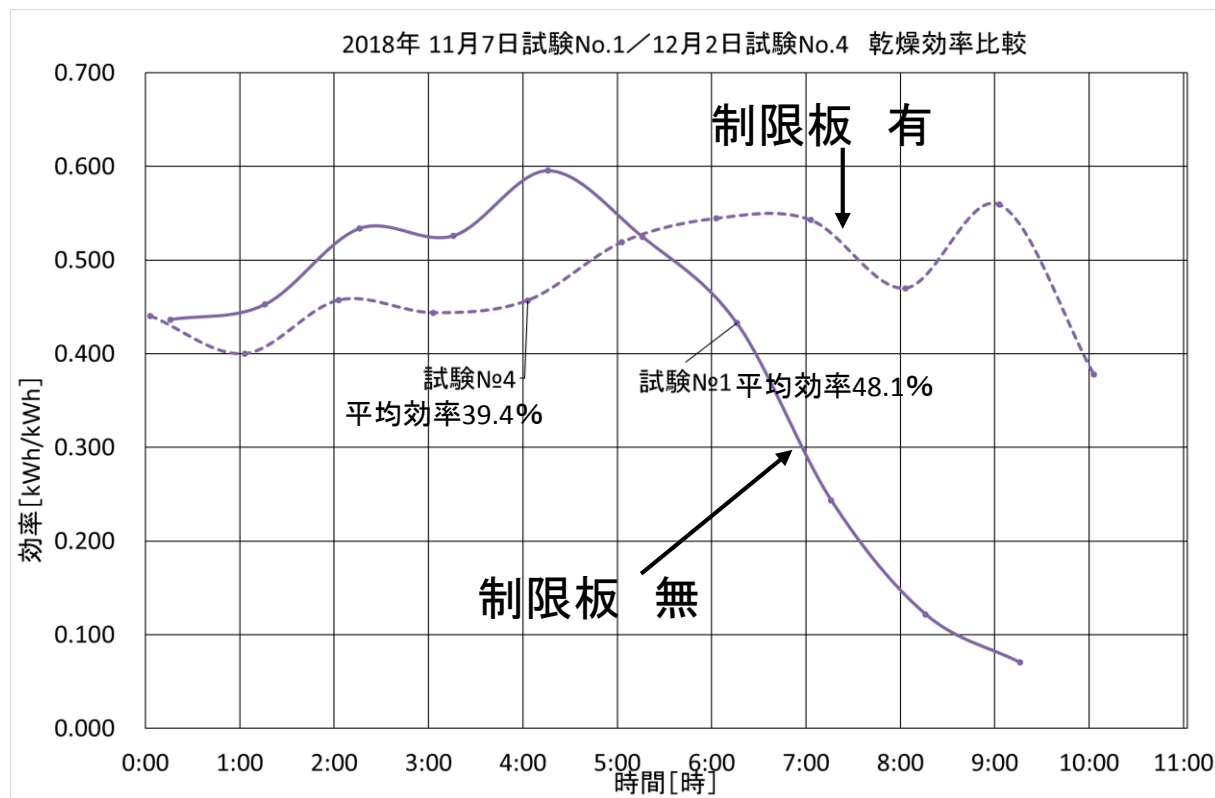
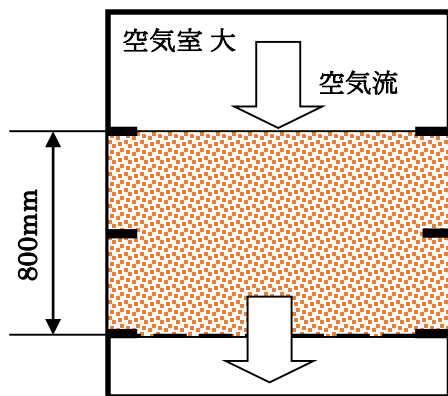
流量: 温風

重量: 装置全体

水分: チップの試験前、試験後

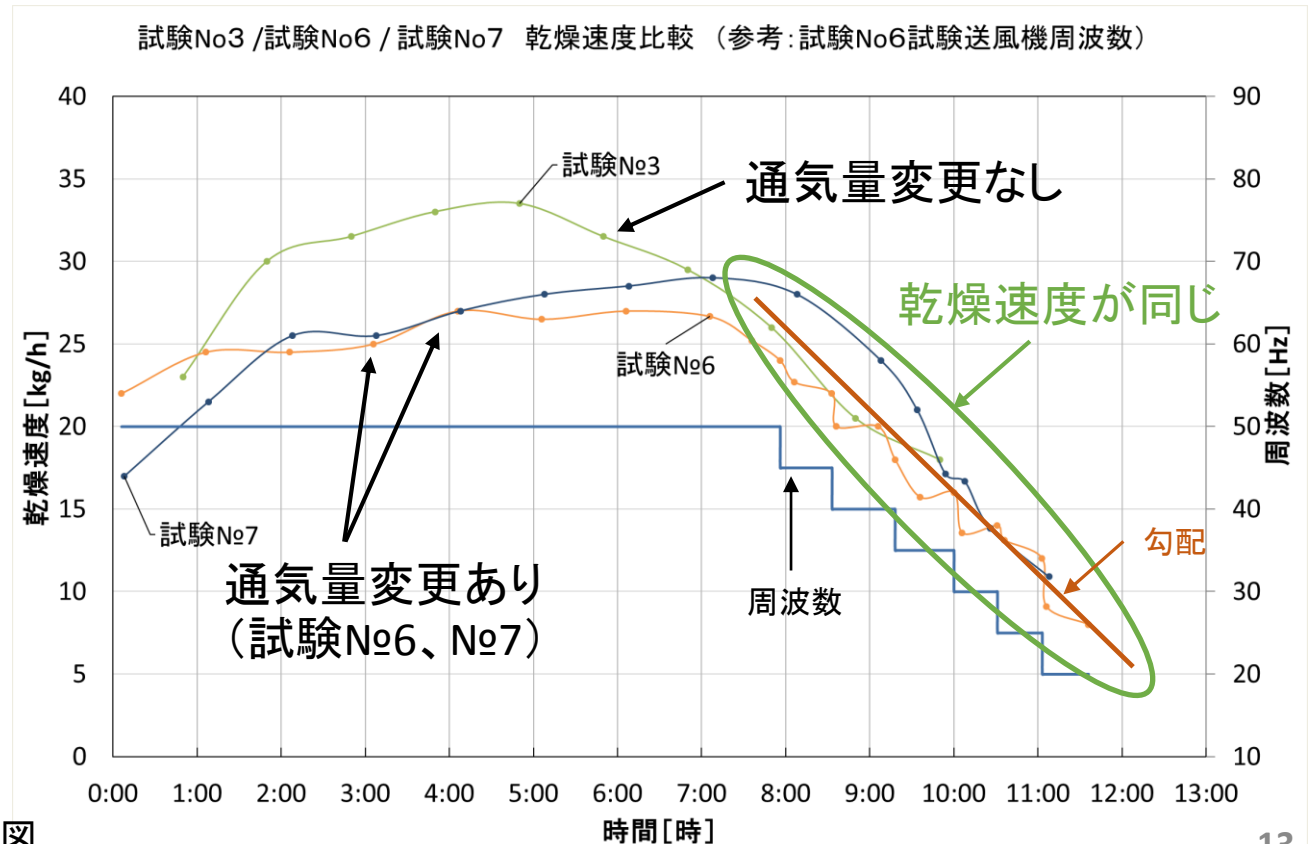
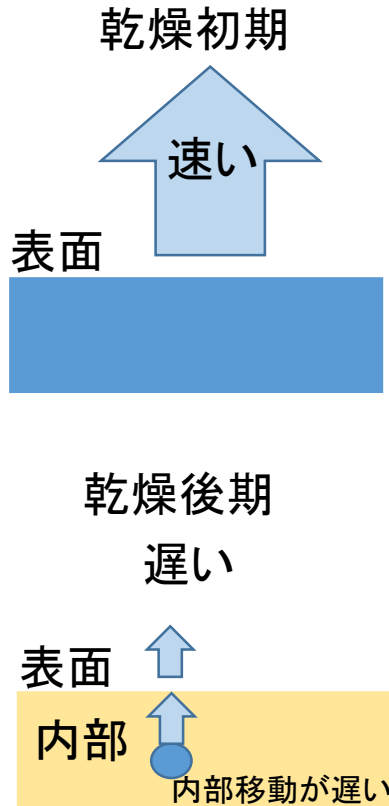
5. 成果 各部流速の均等化(対策1)

- 壁面を伝って流れる通気の影響が無視できない。
- 通気の吹抜けを防止するための制限板を設置した。
- 入口空気室を大きくした。
- 乾燥効率の平均値が8.7%向上した。



5. 成果 通気出口の湿度による通気量制御(対策2)

- 水分蒸発速度の減少に合わせて送風機回転数により通気量を削減する方法(試験No6)
 - 排気の一部を循環させる事により通気量を削減する方法(試験No7)
 - 何れも乾燥速度が低下することはなかった。
 - 試験No3の効率46.9%に比べて、試験No6は 3.1%、試験No7は 0.5%向上した。
- ※通気量の測定が困難であった試験No7ではもっと効率が高かった可能性がある。



5. 成果 乾燥途中の通気逆転(対策3)

- 平均水分が20%WBに達した時点で逆転した試験No5では、中間部位に**高水分のチップ**を残す傾向が見られた。
- 試験No8ではこの傾向を避けるため最初は12時間乾燥し、逆転後4時間乾燥したところ、標準偏差が2.6と**偏りが少ないチップ**を得られた。
- その間長時間加熱を続けたので乾燥効率は試験No5の41.7%に対して試験No8は33.5%と**低いもの**となった。

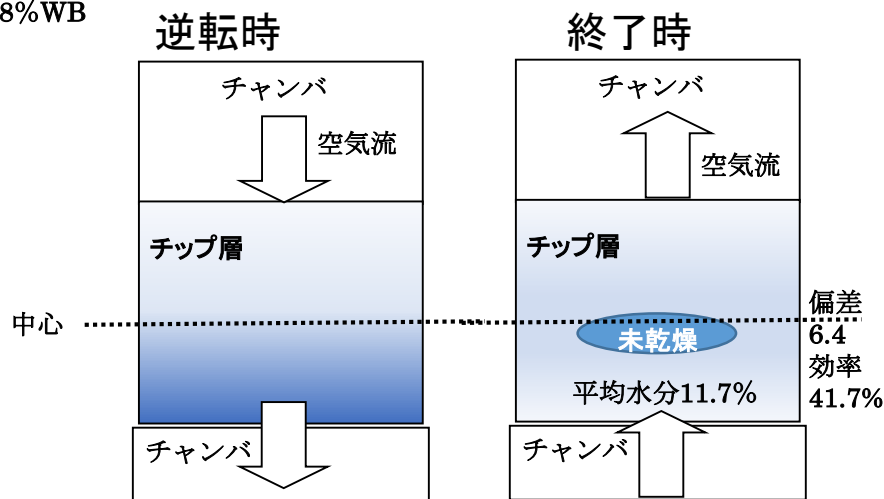
※乾燥の進行状況による逆転時期の選択が操業上の問題になる。

最初は下向き↓、その後上向き↑で通風

試験No5

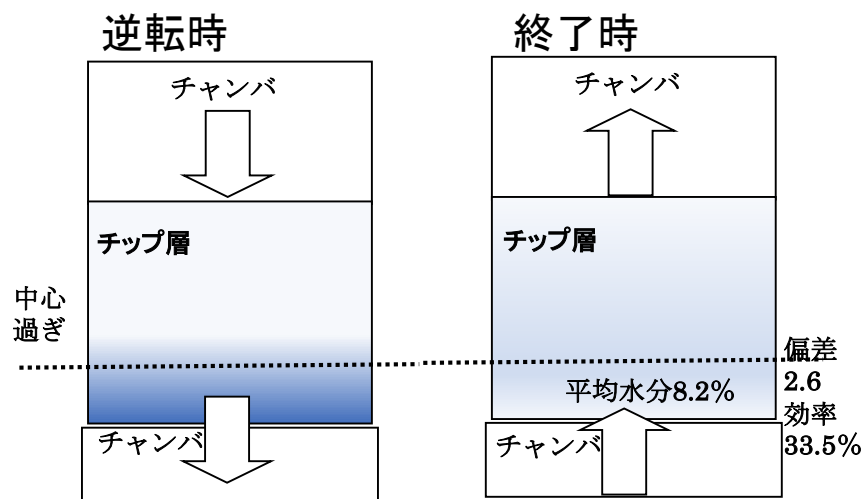
高さ方向の中心くらいまで乾燥したら逆転

スタート時の
水分48%WB



試験No8

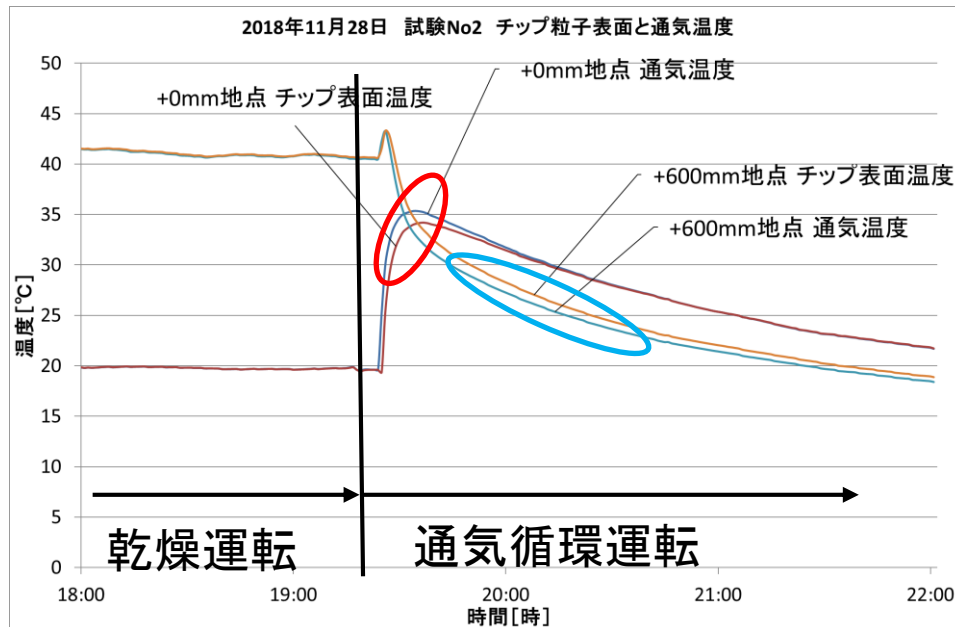
高さ方向の中心を超えてから逆転



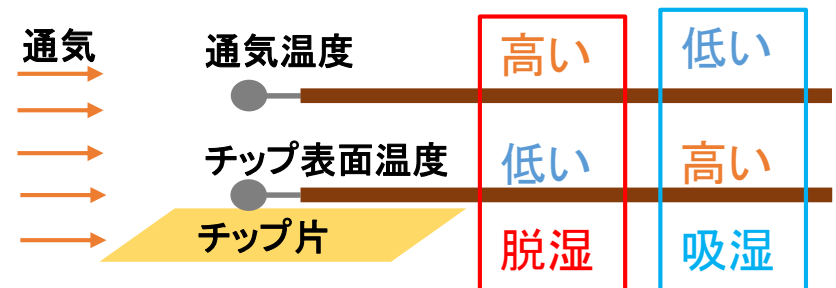
5. 成果 チップ間の水分均一化(対策4)

- 乾燥終了後、水分の偏りを減少させるために、温度を維持しつつ乾燥槽内の通気を循環させた。
- 場所により通気とチップ表面の温度差が逆転し、脱湿する部分と吸湿する部分が存在することが明確になった。
- 温度、経過時間、通気量によって、水分の偏りを減少させる経済的な組み合わせの存在が期待される。

試験No2

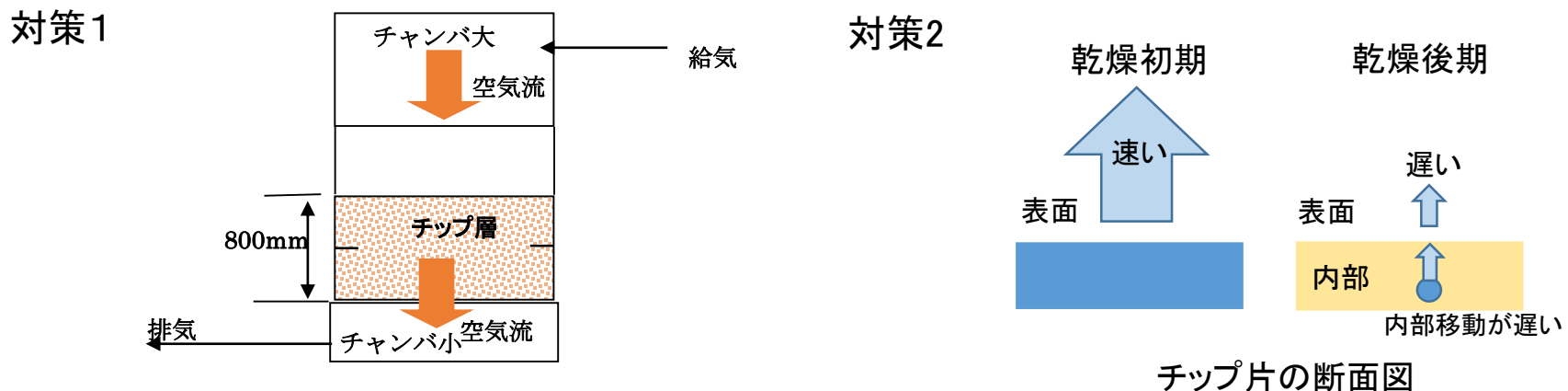


チップに熱電対を固定⇒チップ表面温度の測定



6. 本技術開発・実証事業に対する評価

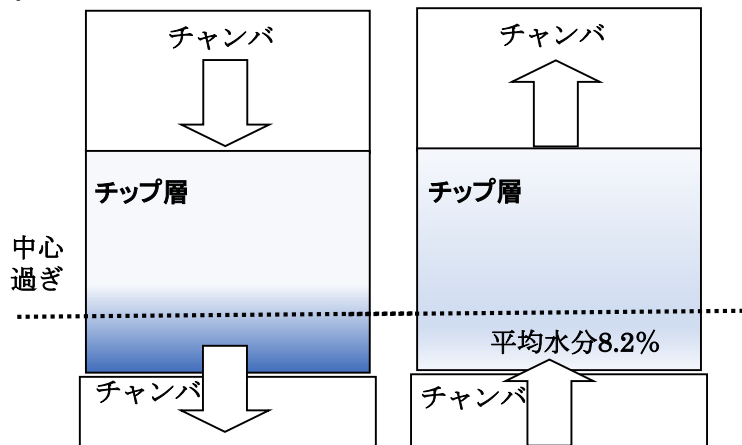
対策	評価
<p>①対策1 各部流速の均等化 (空気室、壁際の制限板)</p>	<p>乾燥機入口の流速の偏りを防ぐため、入口側の空気室は大きくする。 乾燥機の壁際の制限板の設置は効果が大きいため、取付ける。</p>
<p>②対策2 通気出口の湿度による通気量制御 (送風機の周波数、排気一部循環)</p>	<p>乾燥後期の減率乾燥時の通気の減少は、乾燥速度を下げないため、通気量を減らし省エネルギー化を行う。送風機の電力エネルギーも減らすことができる。 乾燥機排気の一部循環も、排熱量を減らし省エネルギー化を行う効果もある。</p>



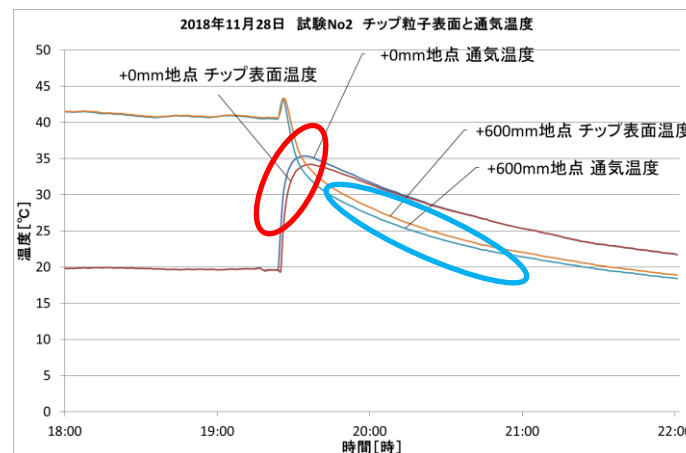
6. 本技術開発・実証事業に対する評価

対策	評価
<p>③対策3 乾燥途中の通気逆転</p>	<p>チップ水分の均等化に効果はあるが、乾燥時間が短縮できないため、乾燥効率が下がる。 小型CHPのチップ水分の偏在条件が厳しい場合には、解決策になる可能性がある。</p>
<p>④対策4 チップ間の水分均等化 (乾燥終了後の通気循環)</p>	<p>乾燥終了後に乾燥機内では、脱湿と吸湿の部位が存在することが明確になったため、通気を循環させ続けることによって、チップ水分の偏在を均等化させる可能性がある。</p>

対策3



対策4



7. 今後の展望 省エネルギー化のための設備と運用方針

本技術開発・実証事業の試験実施の評価と検討を踏まえて、バッチ式箱型積層通気方式の設備における消費エネルギー削減の方針を示す。

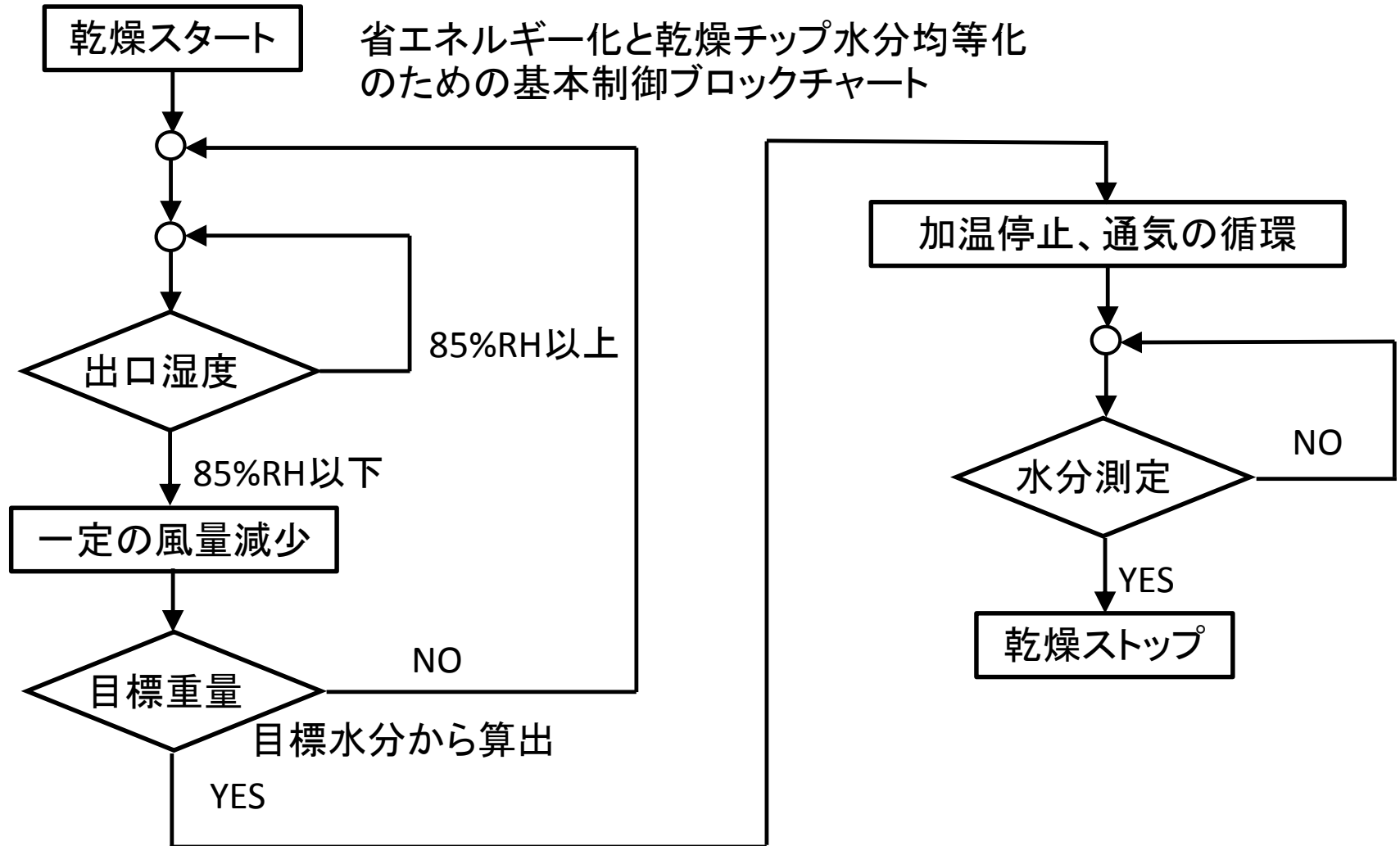
a	許容される乾燥時間の範囲で低出力の加熱装置を使用 (加熱装置出力に乾燥効率向上割合を乗じた値がエネルギー削減量)
b	出力が可変な加熱装置を使用
c	通気量が可変な送風機を使用
d	通気量の場所による偏りの是正と、吹抜け箇所への処置
e	熱交換器を使用して、排気の熱を回収して加熱に使用
f	乾燥の途中で通気方向を逆転することは、逆転のタイミング選択によっては乾燥効率低下のリスクを伴う。

7. 今後の展望 乾燥チップの水分均等化への運用方針

本技術開発・実証事業の試験実施の評価と検討を踏まえて、バッチ式箱型積層通気方式の設備における乾燥チップの水分均等化への方針を示す。

- | | |
|---|---|
| a | 乾燥途中の攪拌が不可能なコンテナ方式の乾燥では、乾燥終了後一定容量の貯槽に受入れ、貯槽内の空気を循環することが有効である。 |
| b | 貯槽の設置が不可能な環境に於いては乾燥用コンテナを貯槽と見做して、空気を循環させる。 |
| c | 循環する空気を加熱して温度を維持することは有効であるが、乾燥直後であれば無加熱でもチップの熱容量によりそれなりの効果が期待可能である。 |
| d | 乾燥速度が減少した段階で、排気の一部を循環することは、省エネルギーになるだけでなく、含水率の偏り減少にも有効である。 |

7. 今後の展望 基本制御ブロックチャート



7. 今後の展望

本システムの導入へ向けた具体的プロセスの検討

今回の事業で取扱ったバッチ式箱型積層通風乾燥機の操業方法について、その利点を全て引き継ぐ。

例えば、既に販売されている**脱着可能なテナ式**の車両による**チップの配送**を想定する。チップ工場での荷受けから運搬、乾燥、CHPへの投入まで一連の動作を行うものである。

【テナの改造など追加措置】

1. テナの底部は**二重底**にして、乾燥用空気のチャンバ(空気室)を構成
2. テナに断熱を兼ねた**壁際吹き抜け防止設備**を設置
3. テナを取付けてチップを乾燥したり、CHPの排気を回収したりする**乾燥ステーション**を製作

乾燥ステーションとは、下方にテナを収容できる**門型構造物**上に、加熱器、送風機、熱交換器を集約して設置するもの。従来大気に放出されていた乾燥用空気を、上部より**フードで囲い込みチャンバ**と化し、ダクトで利用箇所へ導く。



2019/02/28 脱着可能なテナ式の車両

