

### 3-1-2. 考察

#### (1) 各試験結果の比較

##### ① 試験1 針葉樹切削チップ① (加圧—非加圧の比較)

試験1の結果(図25)を見ると、平成25年6月に実施した事前試験結果(図30)と同じ傾向を示す。加圧チップの昇温開始は非加圧チップより遅いが、急速に昇温する。遅れ量は下段より上段に向かって大きくなる。

(考えられる理由 加圧チップは水分移動速度が大きいいため下段から粒子中心部まで順次乾燥させるので、加熱空気に乾燥余力が残る状態になるまで時間がかかる、しかし一旦下方が乾燥すると、水分移動速度が大きい分だけ昇温速度は早くなる。)

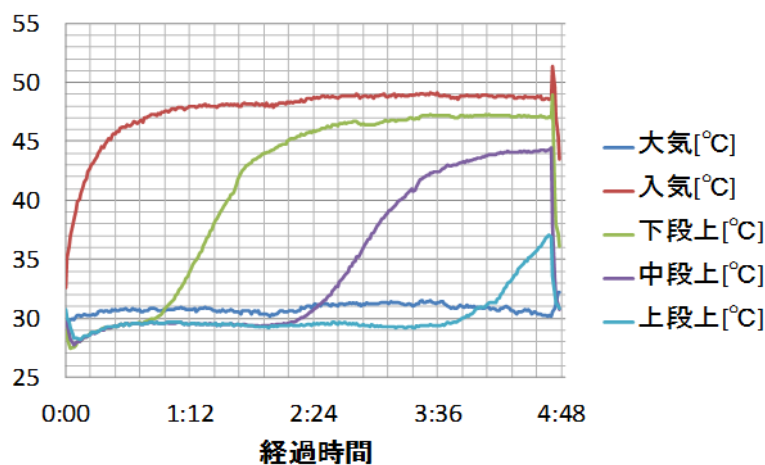
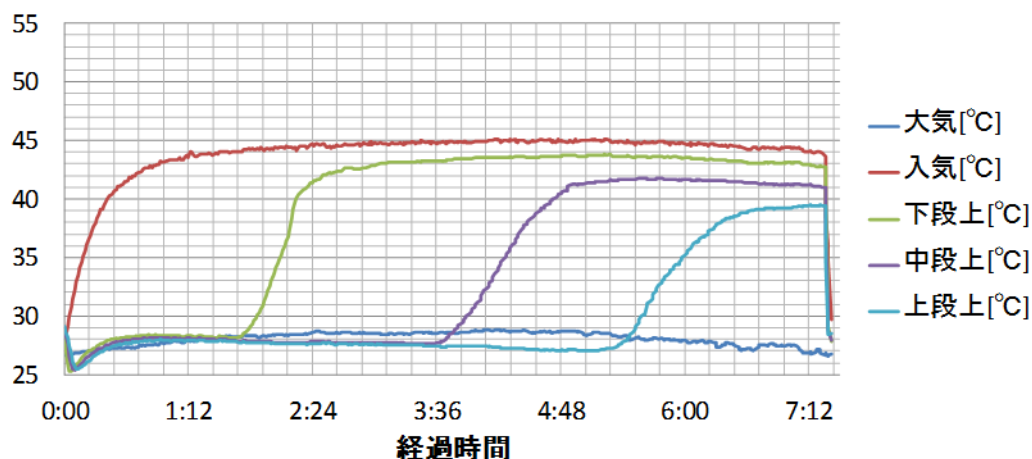


図30 事前試験結果(上図:加圧、下図:非加圧)

加圧チップでは下段の昇温が飽和停止してから中段の昇温が開始する。上段では昇温開始はさらに遅れる。非加圧チップでは遅れ量が少ない。

(考えられる理由:下段で乾燥能力を使い果たした空気は同時に上方を乾燥することは出来ない。加圧チップでは容易に乾燥能力を失うので、下段の昇温が飽和してから上方の乾燥が進行し、上下が並行して乾燥することは少ない。非加圧チップでは粒子中心の水分が徐々に蒸発するので、乾燥余力を持った空気は上方も並行して乾燥させる。下方で蒸発した水分は低温のままの上方で結露する。結露した水分は粒子表面に留まるので、粒子内移動をまぬかれて短時間に蒸発することができる。この現象が上段における加圧

チップの昇温の遅れをより大きくしている。

重量変化を図 31 に、水分を表 3 に示す。温度変化は図 25 に示している。

乾燥試験前データ																				
原料名	①針葉樹切削チップ	<input checked="" type="checkbox"/>	加圧チップ サンプル量 (14kg以上)	20kg	非加圧チップ サンプル量 (14kg以上)	20kg	加圧物 乾燥前 サンプリング	No.1 <input checked="" type="checkbox"/>	非加圧物 乾燥前 サンプリング	No.1 <input checked="" type="checkbox"/>										
	②広葉樹切削チップ	<input type="checkbox"/>						No.2 <input type="checkbox"/>		No.2 <input type="checkbox"/>										
	③針葉樹破砕チップ(+5mm)	<input type="checkbox"/>						No.3 <input type="checkbox"/>		No.3 <input type="checkbox"/>										
設備	①塩ビ管 上中下×2セット	<input checked="" type="checkbox"/>	加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8535	g	乾燥前 加圧チップ 充填 VU管重量	上	11955	g	乾燥前 加圧チップ 差引重量	上	3420	g	乾燥前 かさ比重	上	0.22			
	②配管	<input checked="" type="checkbox"/>		中	4920	g		中	7925	g		中	3005	g		中	0.19			
	③熱電対・記録計	<input checked="" type="checkbox"/>		下	4800	g		下	7860	g		下	3060	g		下	0.19			
	④差圧計	<input type="checkbox"/>	非加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8525	g	乾燥前 非加圧チップ 充填 VU管重量	上	11605	g	乾燥前 非加圧チップ 差引重量	上	3080	g		上	0.19			
	⑤乾湿球温度計	<input checked="" type="checkbox"/>		中	4910	g		中	8085	g		中	3175	g		中	0.20			
	⑥ヒータ・燃料満タン	<input checked="" type="checkbox"/>		下	4810	g		下	8350	g		下	3540	g		下	0.22			
乾燥試験後データ																				
加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8535	g	乾燥後 加圧チップ 充填 VU管重量	上	10965	g	乾燥後 加圧チップ 差引重量	上	2430	g	かさ比重	上	0.15	試験後 サンプリング	圧縮	上	<input checked="" type="checkbox"/>	全体	<input checked="" type="checkbox"/>
	中	4920	g		中	6995	g		中	2075	g		中	0.13			中	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
	下	4800	g		下	6895	g		下	2095	g		下	0.13			下	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
非加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8525	g	乾燥後 非加圧チップ 充填 VU管重量	上	10755	g	乾燥後 非加圧チップ 差引重量	上	2230	g		上	0.14		上	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	中	4910	g		中	7140	g		中	2230	g		中	0.14		中	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	下	4810	g		下	7230	g		下	2420	g		下	0.15		下	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

図 31 チップ重量変化記録 (試験 1)

表 3 チップ水分 (試験 1・湿量基準)

	平均値	サンプル No					
		①	②	③	④	⑤	⑥
非加圧 (乾燥前)	34.5	37.8	33.8	32.9	27.8	38.1	36.8
加圧 (乾燥前)	37.5	35.5	42.0	31.4	38.7	36.9	40.4
非加圧 (上・上側)	11.2	11.0	11.2	11.3			
非加圧 (上・混合)	9.5	9.2	9.5	9.9			
非加圧 (中・上側)	7.9	7.9	8.0	7.8			
非加圧 (中・混合)	7.2	7.5	7.7	6.5			
非加圧 (下・上側)	7.4	7.6	7.0	7.5			
非加圧 (下・混合)	6.8	6.6	6.7	7.0			
加圧 (上・上側)	16.2	16.2	16.5	16.0			
加圧 (上・混合)	10.7	11.2	10.4	10.5			
加圧 (中・上側)	8.3	8.0	8.5	8.3			
加圧 (中・混合)	7.3	7.3	7.5	7.2			
加圧 (下・上側)	7.4	7.9	6.8	7.5			
加圧 (下・混合)	6.7	6.8	6.5	6.8			

比較のためチップを充填した配管の風速を加圧、非加圧で揃えるよう努めたが、風速調整は 15 分毎の手動付加抵抗によるものなので、必ずしも成功しなかった。又、試験は長時間に渡ったため、外気の温度、湿度も変化した。別の日に実施した試験とも比較するために、表 4 に示す記録に基づく時間—温度曲線の時間軸を通風量、外気湿度、入口温度等で計算した乾燥能力の差で修正したグラフを作成した (図 32、図 33)。しかし、気温変化による乾燥時間の変化は修正されたが、次に並べて記載した修正前と修正後のグラフが示すように、温度上昇の傾向については大差なかった。したがって、そ

の後の修正は省略した。

表 4 温度・風速変化記録 (試験 1)

時間	時刻	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	熱電対外気温 (°C)	破碎テップサンプル(系列1番) 北側 赤テープ側				破碎テップサンプル(系列2番) 南側 白テープ側							
					熱電対温度				風速 (m/sec)		熱電対温度				風速 (m/sec)	
					入口 ⑤	下段 ⑥	中段 ⑦	上段 ⑧	調整前	調整後	入口 ①	下段 ②	中段 ③	上段 ④	調整前	調整後
0:00	10:21	21.5	18.5	21.7	21.4	21.8	21.7	21.0	1.5		21.6	21.8	21.7	21.6	1.5	
0:15				22.9	32.0	23.1	22.7	22.1	1.5		32.5	22.9	22.5	22.3	1.5	
0:30				23.4	36.8	24.3	24.0	23.8	1.5		37.6	24.1	23.9	23.7	1.5	
0:45				23.5	38.8	24.6	24.4	24.1	1.5		39.4	24.4	24.2	24.1	1.4	
1:00	11:21	23.0	19.0	24.1	40.3	25.0	24.8	24.5	1.5		41.0	24.7	24.5	24.4	1.6	
1:15				24.0	41.0	25.0	24.8	24.6	1.5		41.6	24.9	24.6	24.5	1.5	
1:30				24.2	41.4	25.1	24.9	24.6	1.5		42.2	26.5	24.6	24.6	1.5	
1:45				24.7	42.1	26.6	24.8	24.6	1.5		42.6	29.3	24.5	24.5	1.5	
2:00	12:21	24.0	19.0	25.1	43.3	32.6	24.4	24.4	1.5		42.2	30.8	24.6	24.5	1.5	
2:15				25.4	42.7	36.8	24.7	24.5	1.5		43.6	36.8	24.4	24.4	1.5	
2:30				25.4	42.7	38.3	24.9	24.6	1.5		43.5	38.1	24.6	24.5	1.6	
2:45				25.8	42.8	39.6	24.9	24.7	1.6		43.9	39.3	25.8	24.6	1.6	
3:00	13:21	24.0	20.0	25.7	43.2	40.6	25.1	24.9	1.6		44.0	40.3	27.9	24.7	1.6	
3:15				25.6	43.3	40.9	25.1	24.4	1.6		44.3	40.7	30.4	24.2	1.6	
3:30				26.1	43.8	41.6	27.7	24.3	1.6		44.7	41.4	33.6	24.2	1.7	
3:45				26.4	44.2	42.1	31.1	24.3	1.6		45.2	42.0	36.4	24.4	1.6	
4:00	14:21	25.0	20.0	26.4	44.1	42.0	34.4	24.1	1.6		45.2	42.3	38.0	25.3	1.7	
4:15				26.7	44.4	42.2	36.7	24.0	1.6		45.1	42.5	39.0	26.7	1.7	
4:30				26.2	44.1	42.3	38.5	24.5	1.6		44.8	42.1	39.9	29.9	1.7	
4:45				26.2	44.0	42.2	39.3	24.8	1.6		44.7	42.5	40.1	32.6	1.7	
5:00	15:21	25.0	20.5	26.3	43.9	42.1	39.8	24.8	1.6		44.8	42.6	40.3	34.7	1.7	
5:15	15:36			26.2	43.8	41.9	40.0	25.4	1.6		44.5	42.3	40.3	36.1	1.6	
5:30	15:51			26.1	43.6	41.7	39.9	27.8	1.6		44.1	42.1	40.2	36.8	1.6	
5:45	16:06	24.0	20.5	26.3	43.6	41.6	39.9	31.2	1.7		44.1	41.9	40.1	37.2	1.8	

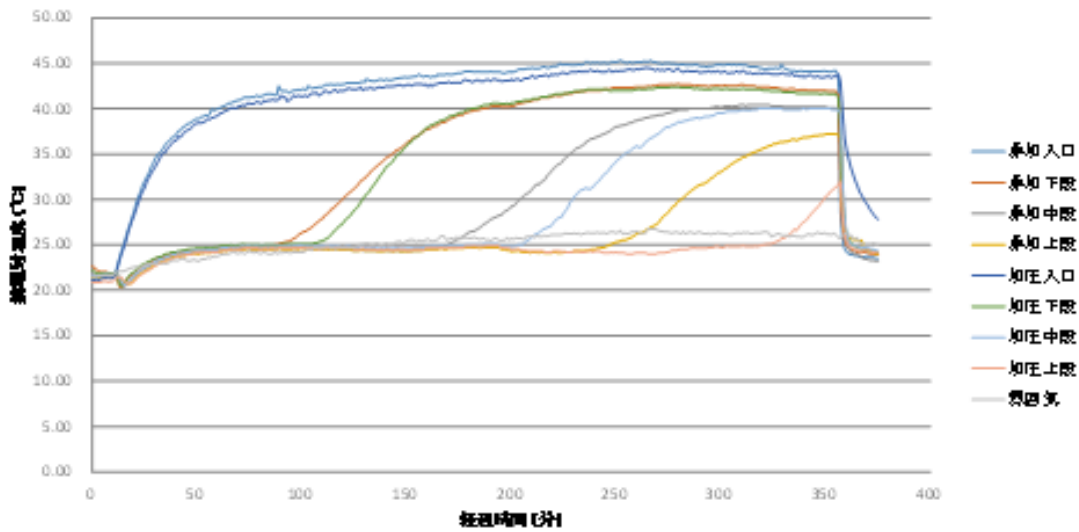


図 32 試験 1 の時間-温度曲線 (修正前)

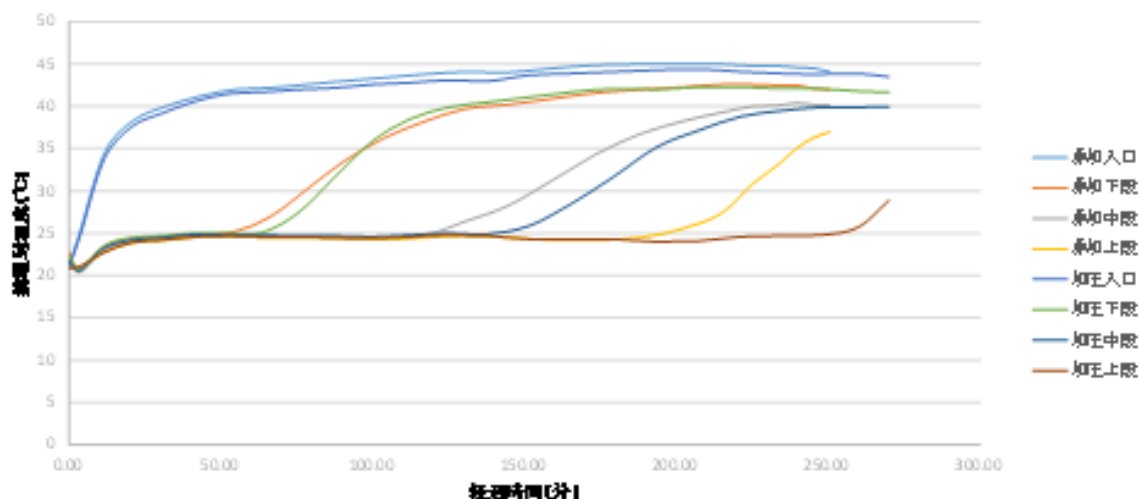


図 33 試験 1 の時間－温度曲線（修正後）

② 試験 2 広葉樹切削チップ①（加圧—非加圧の比較）

試験 2 の結果（図 26）を見ると、試験 1 の結果と同様に、上中下各段のチップは通風開始後加熱空気の露点温度まで比較的短時間に昇温するが、試験 1 では乾燥が進行した段のみが昇温を開始するのに比べて、試験 2 では全ての段が早い時期から昇温を開始した。

下段の昇温が飽和点に達しないうちに中段の昇温が開始する。この傾向は試験 1 非加圧チップにも若干見る事ができる。

昇温の速度は加圧・非加圧共に針葉樹より大幅に遅れ、長時間徐々に進行する。（考えられる理由：組織が緻密なためか加圧・非加圧ともに水分移動速度が針葉樹に比べて大幅に遅いためと思われる。設定した油圧では組織が破壊されなかった可能性がある。）

また下段の昇温は加圧・非加圧の間で差が無い。中段でもほとんど差がないが、上段では僅かに加圧チップの方に遅れが見られる。

（考えられる理由：入口温度の差が影響した可能性もあるが、飽和温度に加圧・非加圧の差が見られる。）

重量変化を図 34 に、水分変化を表 5 に示す。温度変化は図 26 に示している。

乾燥試験前データ																				
原料名	①針葉樹切削チップ			加圧チップ サンプル量 (14kg以上)	20kg	非加圧チップ サンプル量 (14kg以上)			20kg	加圧物 乾燥前 サンプル量			No.1 <input checked="" type="checkbox"/>		非加圧物 乾燥前 サンプル量	No.1 <input checked="" type="checkbox"/>				
	②広葉樹切削チップ												No.2 <input type="checkbox"/>			No.2 <input type="checkbox"/>				
	③針葉樹破碎チップ(+5mm)												No.3 <input type="checkbox"/>			No.3 <input type="checkbox"/>				
設備	①塩ビ管 上中下×2セット			加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8545	g	乾燥前 加圧チップ 充填 VU管重量	上	12250	g	乾燥前 加圧チップ 差引重量	上	3705	g	乾燥前 かさ比重	上	0.23		
	②配管				中	4930	g		中	8560	g		中	3630	g		中	0.23		
	③熱電対・記録計				下	4810	g		下	8600	g		下	3790	g		下	0.24		
	④差圧計			非加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8525	g	乾燥前 非加圧チップ 充填 VU管重量	上	11946	g	乾燥前 非加圧チップ 差引重量	上	3421	g		上	0.22		
	⑤乾湿球温度計				中	4910	g		中	8305	g		中	3395	g		中	0.21		
	⑥ヒータ・燃料満タン				下	4820	g		下	8320	g		下	3500	g		下	0.22		
乾燥試験後データ																				
加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8545	g	乾燥後 加圧チップ 充填 VU管重量	上	11825	g	乾燥後 加圧チップ 差引重量	上	3280	g	かさ比重	上	0.21	試験後 サンプル リング	圧縮	上	<input checked="" type="checkbox"/>	全体	<input checked="" type="checkbox"/>
	中	4930	g		中	8170	g		中	3240	g		中	0.20			中	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
	下	4810	g		下	8145	g		下	3335	g		下	0.21			下	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
非加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8525	g	乾燥後 非加圧チップ 充填 VU管重量	上	11575	g	乾燥後 非加圧チップ 差引重量	上	3050	g		上	0.19		上	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	中	4910	g		中	7755	g		中	2845	g		中	0.18		中	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	下	4820	g		下	7695	g		下	2875	g		下	0.18		下	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

図 34 チップ重量変化記録 (試験 2)

表 5 水分 (試験 2・湿量基準)

	平均値	サンプル No		
		①	②	③
非加圧 (天日乾燥前)	34.2	36.2	33.7	32.7
非加圧 (乾燥前)	18.5	17.5	19.5	18.6
加圧 (乾燥前)	17.9	17.4	17.6	18.6
非加圧 (上・上側)	8.8	9.0	8.7	8.8
非加圧 (上・混合)	8.3	8.1	8.5	8.2
非加圧 (中・上側)	8.0	8.1	8.1	7.8
非加圧 (中・混合)	7.5	7.1	7.8	7.7
非加圧 (下・上側)	6.7	6.7	6.8	6.7
非加圧 (下・混合)	6.5	7.5	6.0	6.1
加圧 (上・上側)	8.1	8.0	8.1	8.1
加圧 (上・混合)	7.7	7.7	7.6	7.7
加圧 (中・上側)	6.9	6.8	7.0	6.8
加圧 (中・混合)	6.6	6.9	6.6	6.4
加圧 (下・上側)	6.2	6.4	6.1	6.1
加圧 (下・混合)	5.8	5.8	5.8	5.9

試験 1 のロール加圧の際に、水分が多いチップは表面に遊離した水分が発生し、それが潤滑材になってロールへの噛み込みが難渋した。そのため、試験 2 以降は原料チップの天日乾燥を実施し、乾燥試験に供給したのは水分 20%以下になった。ロールへの噛み込みはロール破碎機のロール径を変更することで改善できると予想される。

③ 試験 3 針葉樹破碎チップ① (加圧—非加圧の比較)

試験 3 の結果 (図 27) を見ると、試験 1 の結果と同じ傾向で昇温開始は加圧チップ

が非加圧チップより遅いが、急速に昇温する。しかし、遅れ量が下段から上段に移ることで大きくなることは無い。

(考えられる理由:加圧・非加圧ともに同じ組織を持つ針葉樹として同じ傾向になった。昇温開始の遅れが少なかったのは、蒸発させる水分が少ないため、上方での結露が少なかった影響と思われる。)

また乾燥時間は試験1に比べて約 1/3 と短い。

(考えられる理由:試験に用いた微粉を抜いた破砕チップは切削チップに比べて、嵩比重が 0.11/0.20 と約半分であり、水分も低く、蒸発させられる水分が少なかったと思われる。破砕チップの水分、特に表面付着水分は微粉の方に偏在するので、微粉を抜くだけでも水分が減少する。残留チップのかなりの部分が繊維状なので、切削チップと比較して乾燥には有利な形状である。)

重量変化を図 35 に、水分変化を表 6 に示す。温度変化は図 27 に示している。

破砕チップは形状が不揃いで、水分測定のための的確なサンプリングが困難であり、他のサンプルと比較して測定回数が増えることがあった。

乾燥試験前データ																			
原料名	①針葉樹切削チップ		<input type="checkbox"/>	加圧チップ サンプル量 (14kg以上)	20kg	非加圧チップ サンプル量 (14kg以上)	20kg	加圧物 乾燥前 サンプリング	No.1 <input checked="" type="checkbox"/>			非加圧物 乾燥前 サンプリング	No.1 <input checked="" type="checkbox"/>						
	②広葉樹切削チップ		<input type="checkbox"/>						No.2 <input type="checkbox"/>				No.2 <input type="checkbox"/>						
	③針葉樹破砕チップ(+5mm)		<input checked="" type="checkbox"/>						No.3 <input type="checkbox"/>				No.3 <input type="checkbox"/>						
設備	①塩ビ管 上中下×2セット		<input checked="" type="checkbox"/>	上	8545	g	乾燥前 加圧チップ 充填 VU管重量	上	10430	g	乾燥前 加圧チップ 差引重量	上	1885	g	乾燥前 かさ比重	上	0.12		
	②配管		<input checked="" type="checkbox"/>	中	4930	g	乾燥前 非加圧チップ 充填 VU管重量	中	6860	g	乾燥前 非加圧チップ 差引重量	中	1930	g	乾燥前 かさ比重	中	0.12		
	③熱電対・記録計		<input checked="" type="checkbox"/>	下	4810	g	乾燥前 加圧チップ 充填 VU管重量	下	6520	g	乾燥前 加圧チップ 差引重量	下	1710	g	乾燥前 かさ比重	下	0.11		
	④差圧計		<input checked="" type="checkbox"/>	上	8525	g	乾燥前 加圧チップ 充填 VU管重量	上	10255	g	乾燥前 加圧チップ 差引重量	上	1730	g	乾燥前 かさ比重	上	0.11		
	⑤乾湿球温度計		<input checked="" type="checkbox"/>	中	4910	g	乾燥前 非加圧チップ 充填 VU管重量	中	6625	g	乾燥前 非加圧チップ 差引重量	中	1705	g	乾燥前 かさ比重	中	0.11		
	⑥ヒータ・燃料満タン		<input checked="" type="checkbox"/>	下	4820	g	乾燥前 非加圧チップ 充填 VU管重量	下	6345	g	乾燥前 非加圧チップ 差引重量	下	1525	g	乾燥前 かさ比重	下	0.10		
乾燥試験後データ																			
加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8545	g	乾燥後 加圧チップ 充填 VU管重量	上	10220	g	乾燥後 加圧チップ 差引重量	上	1675	g	かさ比重	上	0.11	試験後 サンプリング	上部	全体	<input checked="" type="checkbox"/>	
	中	4930	g	乾燥後 加圧チップ 充填 VU管重量	中	6645	g	乾燥後 加圧チップ 差引重量	中	1715	g		中	0.11					<input checked="" type="checkbox"/>
	下	4810	g	乾燥後 加圧チップ 充填 VU管重量	下	6305	g	乾燥後 加圧チップ 差引重量	下	1495	g		下	0.09					<input checked="" type="checkbox"/>
非加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8525	g	乾燥後 非加圧チップ 充填 VU管重量	上	9990	g	乾燥後 非加圧チップ 差引重量	上	1465	g	かさ比重	上	0.09	試験後 サンプリング	非上部	全体	<input checked="" type="checkbox"/>	
	中	4910	g	乾燥後 非加圧チップ 充填 VU管重量	中	6370	g	乾燥後 非加圧チップ 差引重量	中	1460	g		中	0.09					<input checked="" type="checkbox"/>
	下	4820	g	乾燥後 非加圧チップ 充填 VU管重量	下	6115	g	乾燥後 非加圧チップ 差引重量	下	1295	g		下	0.08					<input checked="" type="checkbox"/>

図 35 チップ重量変化記録 (試験3)

表 6 水分（試験 3・湿量基準）

	平均値	サンプル No							
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
非加圧（天日乾燥前）	68.0	71.0	67.6	65.5					
非加圧（天日乾燥前 5mm 以下除去）	46.4	45.6	43.7	58.4	37.8				
非加圧（乾燥前）	16.7	—	17.9	15.4	—				
加圧（乾燥前）	20.2	22.1	—	19.5	19.1				
非加圧（上・上側）	18.5	14.2	14.6	—	26.8	—			
非加圧（上・混合）	12.3	15.4	15.4	8.6	9.9				
非加圧（中・上側）	8.4	8.5	8.4	8.4					
非加圧（中・混合）	8.2	7.6	8.1	9.0					
非加圧（下・上側）	10.3	8.1	10.1	12.6					
非加圧（下・混合）	10.4	18.0	7.3	7.5	8.6	14.4	14.4	8.5	10.3
加圧（上・上側）	8.8	8.7	—	8.8					
加圧（上・混合）	8.3	8.3	8.3	—					
加圧（中・上側）	8.0	8.2	8.0	7.9					
加圧（中・混合）	8.0	7.4	7.5	9.2					
加圧（下・上側）	7.1	7.1	7.1	7.1					
加圧（下・混合）	7.5	7.9	—	7.6	7.1				

※平均値を算出する際、異常値（「—」で示す）と考えられる数値は除外した。

④ 試験 4 針葉樹切削チップ②（加圧—非加圧の比較）

試験 4 の結果（

図 28）を見ると、試験 1 の結果と同じ傾向で昇温開始は加圧チップが非加圧チップより遅れるが、急速に昇温する。しかし、開始時間の遅れ量は試験 1 と逆に下段から上段に移るにつれて小さくなり、上段では無くなる。

（考えられる理由：試験 1 との試験条件の差は、気温低下による入口温度の低下と経時変化によるチップ含水率の低下である。湿量基準で加圧チップが 37.5%→32.3%、非加圧チップが 34.5%→30.1%に低下していた。これらが上段における結露量にどのように影響するかは今後の検討事項である。）

また乾燥時間が試験 1 に比べて大幅に増加した。

（考えられる理由：入口温度が試験 1 に比べて 44℃→34℃と低かったことによると推測される。）

重量変化を図 36 に、水分変化を表 7 に示す。温度変化は図 28 に示している。

乾燥試験前データ																				
原料名	①針葉樹切削チップ	<input checked="" type="checkbox"/>	加圧チップ サンプル量 (14kg以上)	20kg	非加圧チップ サンプル量 (14kg以上)	20kg	加圧物 乾燥前 サンプル量	No.1	<input type="checkbox"/>	非加圧物 乾燥前 サンプル量	No.1	<input type="checkbox"/>								
	②広葉樹切削チップ	<input type="checkbox"/>						No.2	<input type="checkbox"/>		No.2	<input type="checkbox"/>								
	③針葉樹破砕チップ(+5mm)	<input type="checkbox"/>						No.3	<input type="checkbox"/>		No.3	<input type="checkbox"/>								
設備	①塩ビ管 上中下×2セット	<input checked="" type="checkbox"/>	加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8545	g	乾燥前 加圧チップ 充填 VU管重量	上	11585	g	乾燥前 加圧チップ 差引重量	上	3040	g	乾燥前 かさ比重	上	0.19			
	②配管	<input checked="" type="checkbox"/>		中	4930	g		中	7985	g		中	3055	g		中	0.19			
	③熱電対・記録計	<input checked="" type="checkbox"/>		下	4810	g		下	7975	g		下	3165	g		下	0.20			
	④差圧計	<input checked="" type="checkbox"/>	非加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8525	g	乾燥前 非加圧チップ 充填 VU管重量	上	11890	g	乾燥前 非加圧チップ 差引重量	上	3365	g		上	0.21			
	⑤乾湿球温度計	<input checked="" type="checkbox"/>		中	4920	g		中	8150	g		中	3230	g		中	0.20			
	⑥ヒータ・燃料満タン	<input checked="" type="checkbox"/>		下	4820	g		下	7945	g		下	3125	g		下	0.20			
乾燥試験後データ																				
加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8545	g	乾燥後 加圧チップ 充填 VU管重量	上	10770	g	乾燥後 加圧チップ 差引重量	上	2225	g	かさ比重	上	0.14	試験後 サンプル リング	圧縮	上	<input checked="" type="checkbox"/>	全体	<input checked="" type="checkbox"/>
	中	4930	g		中	7125	g		中	2195	g		中	0.14			中	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
	下	4810	g		下	7040	g		下	2230	g		下	0.14			下	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
非加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8525	g	乾燥後 非加圧チップ 充填 VU管重量	上	10925	g	乾燥後 非加圧チップ 差引重量	上	2400	g		非圧縮	上		0.15	上	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
	中	4927	g		中	7225	g		中	2298	g			中		0.15	中	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
	下	4820	g		下	7085	g		下	2265	g			下		0.14	下	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>

図 36 チップ重量変化記録 (試験 4)

表 7 水分 (試験 4・湿量基準)

	平均値	サンプル No		
		①	②	③
非加圧 (乾燥前)	30.1	28.6	29.5	32.2
加圧 (乾燥前)	32.3	30.3	33.0	33.7
非加圧 (上・上側)	11.7	11.9	11.5	11.8
非加圧 (上・混合)	10.2	10.0	10.8	9.8
非加圧 (中・上側)	8.8	9.1	8.6	8.6
非加圧 (中・混合)	7.8	7.4	8.0	7.9
非加圧 (下・上側)	6.9	6.8	7.0	6.9
非加圧 (下・混合)	6.7	6.8	6.6	6.8
加圧 (上・上側)	9.6	9.5	9.7	9.6
加圧 (上・混合)	8.3	8.1	8.5	8.4
加圧 (中・上側)	8.2	8.0	7.9	8.8
加圧 (中・混合)	7.1	6.5	7.4	7.5
加圧 (下・上側)	7.4	7.5	7.3	7.4
加圧 (下・混合)	6.7	6.7	6.6	6.8

⑤ 試験 5 針葉樹切削チップ③ (加圧—低速加圧の比較)

試験 5 の結果 (図 29) を見ると、低速 (ロール周速 1/2) 加圧チップは非加圧チップと見做せるほど、試験 1 とほとんど同じ温度曲線になった。昇温開始の遅れと、昇温速度の差はむしろ試験 1 より大きい。昇温開始の遅れの上中下段による差はほとんどなかった。

(考えられる理由：加圧速度を 1/2 にするに当って、油圧による加圧力と粒子内最大圧力を標準加圧速度と同様にするため、ロール破砕機への供給量を 1/2 にした。ただこの



計画が失敗して、チップがほとんど加圧されなかったか、低速で加圧することによりチップの組織が柔軟に変形して粒子内に応力が発生しなかったかについては、現段階では不明である。なお水分が高いチップの加圧に際して遊離した水分が噴き出したことから、加圧速度が内部応力に影響することは確実である。）

重量変化を図 37 に、水分変化を表 8 に示す。温度変化は図 29 に示している。

乾燥試験前データ														
原料名	①針葉樹切削チップ	<input checked="" type="checkbox"/>	高速 加圧チップ サンプル量 (14kg以上)	20kg	低速 加圧チップ サンプル量 (14kg以上)	20kg	高速 加圧物 乾燥前 サンプル量	No.1 <input checked="" type="checkbox"/>	低速 加圧物 乾燥前 サンプル量	No.1 <input checked="" type="checkbox"/>				
	②広葉樹切削チップ	<input type="checkbox"/>						No.2 <input type="checkbox"/>		No.2 <input type="checkbox"/>				
	③針葉樹破砕チップ(+5mm)	<input type="checkbox"/>						No.3 <input type="checkbox"/>		No.3 <input type="checkbox"/>				
設備	①塩ビ管 上中下×2セット	<input checked="" type="checkbox"/>	標準破砕 加圧チップ 充填前 VU管重量	上 8540 g	乾燥前 標準破砕 加圧チップ 充填 VU管重量	上 11420 g	乾燥前 標準破砕 加圧チップ 差引重量	上 2880 g	乾燥前 かさ比重	上 0.18				
	②配管	<input checked="" type="checkbox"/>	中 4920 g	中 7990 g	中 3070 g	中 0.19								
	③熱電対・記録計	<input checked="" type="checkbox"/>	下 4795 g	下 7975 g	下 3180 g	下 0.20								
	④差圧計	<input type="checkbox"/>	上 8525 g	上 11570 g	上 3045 g	上 0.19								
	⑤乾湿球温度計	<input checked="" type="checkbox"/>	中 4920 g	中 8030 g	中 3110 g	中 0.20								
	⑥ヒータ・燃料満タン	<input checked="" type="checkbox"/>	下 4805 g	下 7890 g	下 3085 g	下 0.19								
乾燥試験後データ														
高速 加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8540 g	乾燥後 標準破砕 加圧チップ 充填 VU管重量	上 10895 g	乾燥後 標準破砕 加圧チップ 差引重量	上 2355 g	かさ比重	上 0.15	試験後 サンプル リング	標準破砕	上 <input checked="" type="checkbox"/>	上部	全体	<input checked="" type="checkbox"/>
	中	4920 g	中 7315 g	中 2395 g	中 0.15	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>						
	下	4795 g	下 7030 g	下 2235 g	下 0.14	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>						
低速 加圧チップ 充填前 VU管重量	上	8525 g	乾燥後 低速破砕 加圧チップ 充填 VU管重量	上 11005 g	乾燥後 低速破砕 加圧チップ 差引重量	上 2480 g		上 0.16		上 <input checked="" type="checkbox"/>	上 <input checked="" type="checkbox"/>			
	中	4920 g	中 7585 g	中 2665 g	中 0.17	中 <input checked="" type="checkbox"/>		中 <input checked="" type="checkbox"/>						
	下	4805 g	下 7430 g	下 2625 g	下 0.17	下 <input checked="" type="checkbox"/>		下 <input checked="" type="checkbox"/>						

図 37 チップ重量変化記録（試験 5）

表 8 水分（試験 5・湿量基準）

	平均値	サンプル No		
		①	②	③
低速加圧（上・上側）	10.2	10.1	10.3	10.3
低速加圧（上・混合）	10.4	10.6	10.5	10.1
低速加圧（中・上側）	9.4	9.4	9.3	9.5
低速加圧（中・混合）	10.7	14.2	8.9	9.0
低速加圧（下・上側）	8.5	8.8	8.4	8.4
低速加圧（下・混合）	8.0	8.0	7.8	8.2
標準加圧（上・上側）	12.0	12.0	12.0	12.1
標準加圧（上・混合）	10.3	10.2	10.3	10.4
標準加圧（中・上側）	10.1	9.7	11.5	9.2
標準加圧（中・混合）	8.9	8.8	8.8	9.0
標準加圧（下・上側）	8.2	8.1	8.6	8.0
標準加圧（下・混合）	7.8	8.1	7.4	7.9

（2）ロール加圧による乾燥エネルギーの削減実績

目標は乾燥が終了する前に乾燥能力を残した高温のガスが層を出て行くエネルギー損失の 30%を削減することにあつたが、チップ層の性状やガス温度など乾燥の条件により異なるが、針葉樹加圧チップにおいては 15～58%の削減率を示した（表 9）。

削減率は次のように計算した。

図 38 に示すように試験 1 では 1m の高さごとに上中下 3 段に別けて温度を測定した。もし、2m の高さにチップを積み上げて下から通気した場合、中段で示された温度でガスがそこから大気に放出されることになり、ガスが持っている乾燥能力は損失になる。その損失は温度と時間を累積した積算温度に比例する。加圧チップと非加圧チップの損失を比較する場合、中段におけるそれぞれの温度に差が生じた時点より、乾燥が終了して再び温度が同一になる時点までの積算温度の比が損失の比になる。図 38 では赤字斜線の部分が非加圧チップの積算温度になり、黒字斜線の部分が加圧チップの積算温度になる。

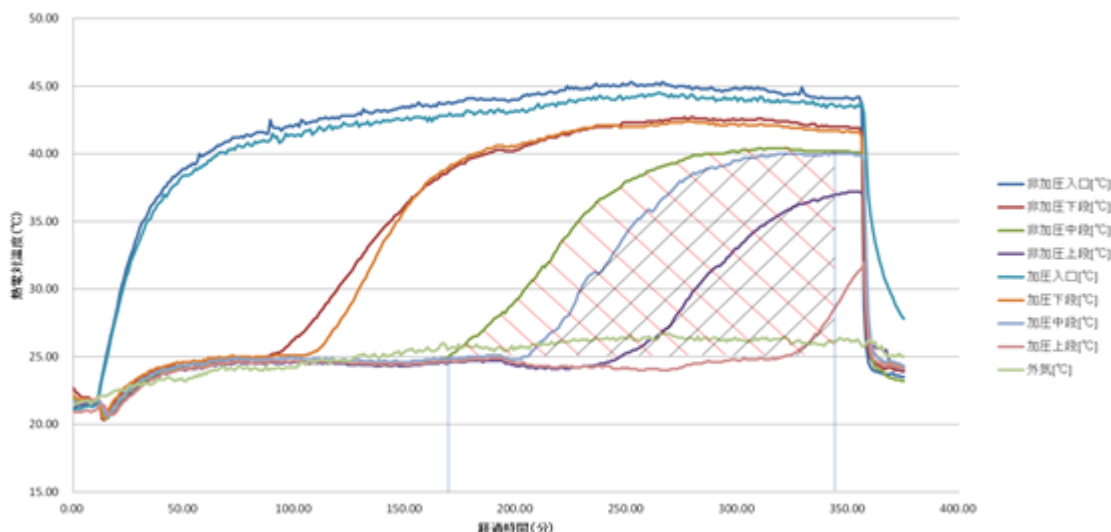


図 38 エネルギー損失削減率の考え方

表 9 エネルギー損失削減率

	非加圧中段積算温度 (°C・min)	加圧中段積算温度 (°C・min)	削減率(%)
試験 1	2097.7	1682.1	19.8
試験 2	2240.7	1892.5	15.5
試験 3	869.0	727.2	16.3
試験 4	265.9	153.1	42.4
	低速加圧中段積算温度	標準加圧中段積算温度	
試験 5	1292.9	537.6	58.4

低速加圧チップと標準加圧チップの間で積算温度に大きな差が出た理由は不明である。樹種、形状、粒径、水分等のチップ層性状や、乾燥に使用されるガスの条件により、乾燥曲線(温度—時間)は大きく変化し、それに従って損失を示す積算温度も変化する。どのような条件の時に削減率が大きくなるかは今後の課題である。

### (3) ロール加圧乾燥基礎試験の考察

#### ① チップ乾燥度合の経時変化の測定について

乾燥が終了する前に、水蒸気未飽和の空気がチップ層を出て行くことによる損失を削減するのが試験の目的なので、経時的な変化を測定できるチップ周辺空気の温度測定が

中心になり、チップ含水率の変化は乾燥結果を確認することに限られた。試験装置の各部におけるチップの重量と水分を測定することにより、実際の乾燥結果を知ることが出来るが、測定のタイミングは試験開始時と終了後のみに制約される。しかも、水分測定はチップの形状が大きい代表値を得るための正確なサンプリングが困難で、数値の偏りが大きい。また乾燥が終了していない上方では下方で蒸発した水分の再凝縮もあり、考察は主として温度変化に頼らざるを得なかった。

## ② 加圧チップと非加圧チップの乾燥による温度変化における違いの原因

ロール加圧の目的は粒子内の組織を破壊することにより物質移動を容易にすることにある。乾燥の場合はチップに含まれる水分を粒子表面と粒子内部に分け、加圧したチップは内部より表面への水分移動が容易であり、非加圧のチップは加圧したチップに比べて水分移動に時間を要するものだと考察する。図 39 に水分の位置を模式的に表したものを示す。

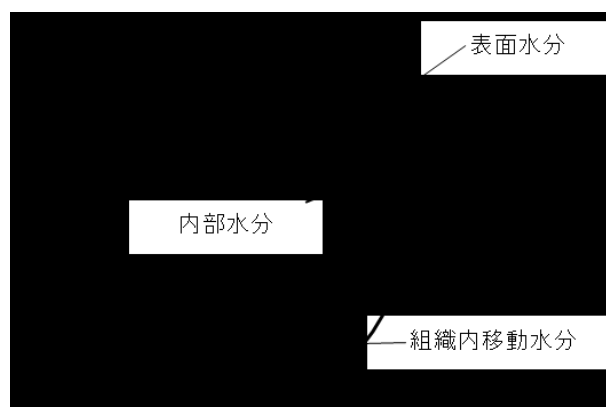


図 39 チップ粒子内水分の所在

加熱された空気は接触したチップ表面の水分を蒸発させ、空気そのものの温度は低下する。粒子表面に十分な水分がある限り、断熱冷却線上をなぞる形で空気温度は露点まで低下するが、その過程で水分が不足すれば空気は水分で飽和することが出来ず、空気温度は露点温度より高い位置に留まる。実際の測定においては試験装置からの放熱で熱が失われるので、空気温度は断熱冷却線より下方の線上を移動することになる。その状況を湿度図表として図 40 に示す。

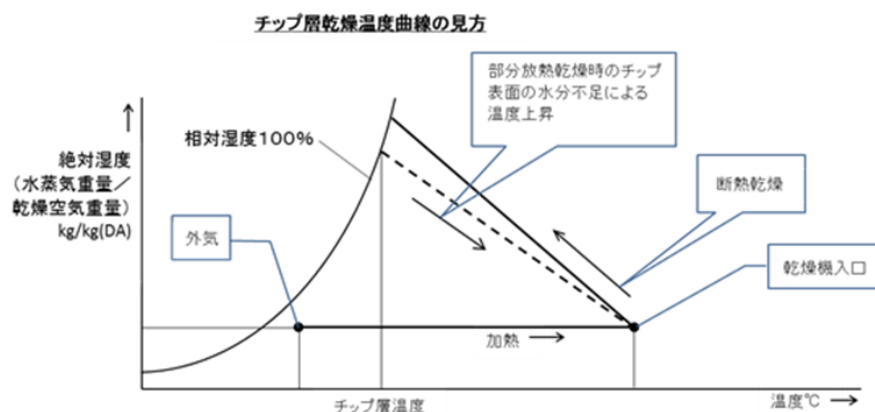


図 40 チップの乾燥状況

加圧されたチップは粒子内部から表面への水分補給が容易に実施されるので、同じ条件下の乾燥プロセスでは加圧チップの表面は乾燥の途中において非加圧より多く水分が補給され、水蒸気未飽和による空気の昇温開始は非加圧のチップより遅くなり、温度はより長時間低い状態で維持される。しかし、乾燥において同じ熱量を供給し続ければ、放熱で無駄に消費されない限り同じ量の水分が蒸発するので、加圧チップの粒子内部の水分は非加圧チップに比べて低下する。そのため、一旦加圧チップが昇温を開始すると、昇温開始時にも内部に多くの水分を保有し、開始後も水分を補充し続ける非加圧チップに比べて昇温が急速である。

針葉樹切削チップを加熱空気乾燥させた場合、横軸に時間、縦軸にチップ層温度を記載した試験1のグラフを図41に示す。

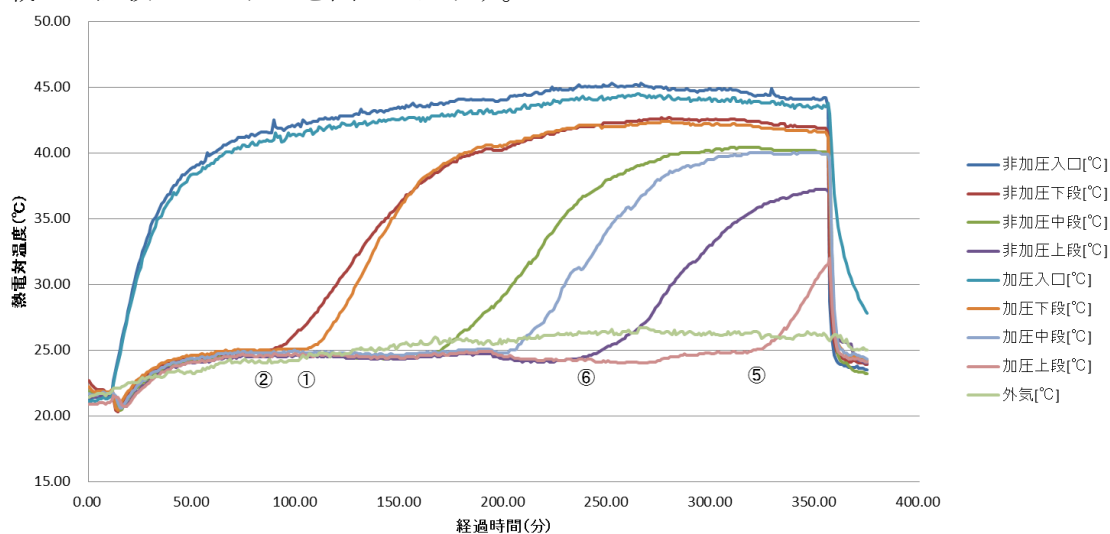


図 41 針葉樹切削チップ層の温度経過 (試験1)

入口温度は継続して外気に一定の熱量を加えたもので、試験装置の温度が平衡状態に達した以降はほぼ外気温に支配されている。チップ下層では粒子表面に十分な水分が存在する範囲では空気の温度は露点に留まる。加圧チップはグラフ中の①で表面水分が不足するが、非加圧チップではより早い時期(グラフ中の②)で水分不足になり、昇温を開始する。昇温を開始すると、既に内部の水分を失っている加圧チップは急速に昇温して最終的には両者とも平衡状態に達する。平衡時の温度は入口温度よりその間の装置の放熱損失分だけ低くなる。

チップ下層で蒸発した水分は上層の温度が低いいためその一部が結露し、チップに付着して一時的に水分を増加させる。中層、上層における加圧、非加圧の間における昇温時間帯の差は、水分の増加と放熱損失による温度低下により更に拡大される。

### ③ ロール加圧乾燥の消費エネルギー削減量

乾燥は自然乾燥、通気乾燥、加熱乾燥に大別することが出来る。自然乾燥、通気乾燥は乾燥速度が遅いので、粒子表面の水分蒸発速度が粒子内部から表面への水分移動速度を上回る事はほとんどない。したがって乾燥のエネルギー削減のみを目的とするロール加圧の場合は、温度上昇速度に差が出る加熱乾燥の場合のみを対象とする。

乾燥に最低限必要なエネルギーは蒸発する水分量で定まる。加熱前の空気が持つ乾燥能力を無視すれば、実際に必要なエネルギーは蒸発に要したエネルギーと蒸発以外に消費されたエネルギーの合計であり、その中には乾燥機から高温で乾燥余力を持ったまま大気中に放出される空気のエネルギーも含まれる。この大気放出エネルギーが加圧・非加圧でどのような差が出るかを考察する。

露点温度に達した空気はチップを乾燥させる能力を保持しない。また空気の温度が露点より高ければその地点の上部(下流)のチップを乾燥させる。しかし、上部(下流)にチップ層が存在せず大気に放散される場合は乾燥余力(エネルギー)の損失になる。今回の試験で最上端になる図 41 の⑤と⑥がその部分に相当する。しかし、試験継続時間の制約があり、最上端が飽和する前に試験を中止したので、中段上部(2mH)から大気に放散される設備として計算した。

#### (4) チップ層ロール加圧の考察

##### ① ロール加圧試験で得られた知見

チップ層をロールで加圧した効果を定量的に評価するためには、チップ内部の構造改変に直接作用する粒子内最大応力を一定に保つ必要がある。しかしながら、シリンダー油圧(加圧力)と粒子内応力の相関関係を確定できないままに試験を開始したので、残念ながらデータ採取に当たって粒子内最大応力が一定であるとは断定できないままになってしまった。試験を実施し、考察を進める中で多くの知見を得たのでそれを列挙し、その根拠を後述する。

1. ロール破砕機を使用して加圧すると設定油圧だけでは粒子内応力は定まらない。
2. ロール破砕機の油圧回路の特性により、チップ供給量によって油圧が変動する。それは設定油圧で作動するアキュムレータを回路に組み込むことで改善される。
3. ロール破砕機を使用した場合、原料チップの粒径が大きいと「単粒子破砕」になり、特定の粒子の内部応力が増大する。
4. ロールで加圧する場合、発生する最大応力は、圧密されたチップ層の弾性係数を測定することにより、ヘルツの接触応力の式で算定できる。
5. ロールで加圧する場合、ニップアングル(噛み込み角度)とロール表面の摩擦係数で処理量と処理可能なチップ粒径に制約を受ける。
6. ロールで加圧する場合、原料チップの水分でニップアングルと弾性係数が変化する可能性がある。

##### ② 粒子内応力の想定

チップ層をロールで加圧した効果を定量的に評価するためには、内部構造改変に直接作用する粒子内最大応力を算定する必要がある。今回は油圧によるロール破砕機を使用して加圧したので、シリンダー内油圧と粒子内応力の相関関係を求めたが、三つの問題が存在して一義的には決められなかった。

1. 加圧力はシリンダー油圧で調整するが、チップの反力が加圧力を上回ると油圧が上昇する

2. ロールの加圧をロール幅全体のチップで均一に受けるのではなく、ロール間に供給されるチップの量や質の不揃いで、チップ粒子内に発生する応力に偏りが生じる。
3. ロールの圧縮面は曲面なのでロール入口での加圧力はゼロであり、ロール間に進入するにしたがって増大する。したがって、ロール圧縮面の位置により粒子に発生する応力は異なり、加圧力を加圧面積で除した平均応力と粒子内最大応力との間に大きな差が生じる。

しかしながら、この問題は処理能力を重視してロールで加圧する限り避けて通れないので、大幅な仮定や、類似の試験を実施して粒子内応力の想定に努めた。

### ③ ロール加圧試験における加圧力の変動

ロールの間にチップを噛み込んでチップを加圧する場合は、チップ供給量が増えるとチップの反力で油圧が変動する。油圧の変化は油圧回路中のアキュムレータの有無や、その他種々の要因で異なる。図 42 にチップ供給量によるロールギャップの変化に伴って変化する油圧を模式的に示す。

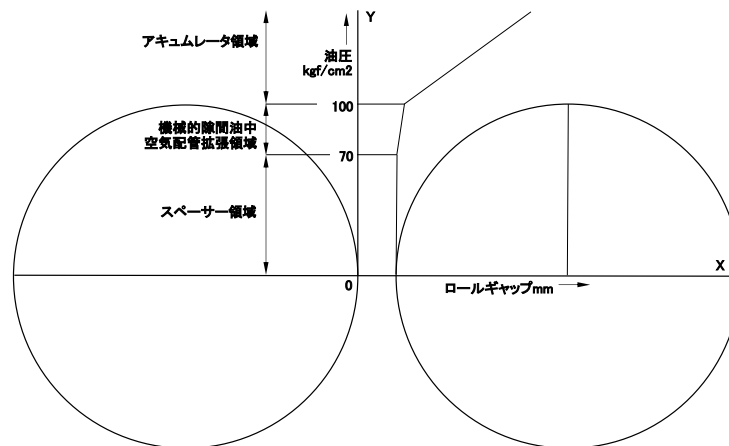


図 42 油圧変化の模式図

試験を実施したロール破砕機では油圧回路に  $100\text{kgf/cm}^2$  のガスを充てんしたアキュムレータを付加している。初期のロールギャップ  $s$  (ロールの直接接触を防止するために軸受ブロック間にスペーサを入れてこれ以上接近させない) に対してシリンダー油圧を  $70\text{kgf/cm}^2$  にして閉め切った。

チップ供給量が少なくチップの層厚  $h$  が  $s$  より小さい場合、シリンダー  $70\text{kgf/cm}^2$  の加圧力は軸受間スペーサで受けられ、チップ層は加圧されない。チップ供給量が増加して層厚  $h$  が  $s$  より大きくなると、チップ層は圧縮され、圧縮特性曲線に示すような反力を生じる。反力を支えるシリンダーへの油圧はブロックされているので、ロールギャップの拡大は機構的な撓みや作動油の体積変化など僅かに留まり、シリンダー内油圧は  $70\text{kgf/cm}^2$  より次第に増加する。しかし、 $100\text{kgf/cm}^2$  を越すとアキュムレータに油が流入するのでシリンダーは後退し、ロールギャップは急激に増大する。増大の割合はアキュムレータの特性によるが、今回の加圧作業は初期設定のロールギャップ  $1.5\text{mm}$  と油圧  $70\text{kgf/cm}^2$  で実施した。今回の加圧試験では付帯する圧力計の性能もあって目視での油圧変動量の確認ができなかった。 $100\text{kgf/cm}^2$  に設定されたアキュムレータは異物噛

み込みなど非常事態の保護装置として機能する設備なので、殆どは  $70\text{kgf/cm}^2$  近くの油圧でチップを加圧したものと推定される。アキュムレータが作動する圧力を自由に設定できる装置であれば、ロールへのチップ供給量の変動しても、ロールギャップが追従して一定の加圧力を維持することが可能である。

#### ④ 2種類の破砕機構（「単粒子破砕」と「干渉破砕」）

ロール破砕機の破砕機構は被破砕物の供給量によって、「単粒子破砕」と「干渉破砕」に大別される。供給量が少なく、圧縮に際して粒子が側方に変形可能な空間が存在する場合は「単粒子破砕」になり、供給量が多く、空間が他の粒子で充満されている場合は、側方に変形しようとしても変形を妨げる反力がかかるので「干渉破砕」になる。

「単粒子破砕」の場合は被破砕物寸法の最小部分がロールギャップまで圧縮破砕される。圧縮比（収縮割合）は被破砕物寸法の最小部分とロールギャップにより定まる。

「干渉破砕」の場合は被破砕物寸法に関係なく圧縮され、粒子内の反力によって応力が発生し破砕される。反力はロール間のチップ層を構成する部分の特性によって異なるが、ここでは単純化して層が均一なものとして見做して考察した。この場合他の条件が同じであればチップ層の圧縮比（収縮割合）により加圧力が定まるので、必要な加圧力を発生する圧縮比になるよう、供給量に基づいて初期のロールギャップ  $s$  を決める。

今回の試験では相対的に供給量が多く、被破砕物寸法も小さいと思われたので、「干渉破砕」と見做し、チップはロール幅全体で加圧されるものとして検討を進める。チップはロール周速でロール入口に達するものとして層厚を計算した。

#### ⑤ 最大応力の計算（ヘルツの接触応力の式の適用）

チップ層がロールで加圧されるとそれぞれの部分の圧縮比に応じて反力が発生し、（実施した試験の結果は後で述べる）層内に生じる応力分布を想定すると図 43 のようになる。

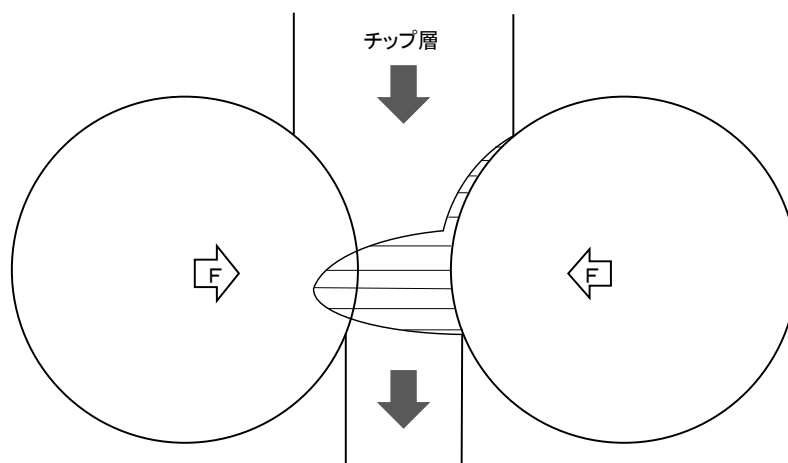


図 43 チップ層ロール加圧時の応力分布想定

加圧力より最大応力を算出する方法として、円筒面の接触応力を計算するヘルツの式を準用する。



$$\sigma_{\max} = 0.591 \{ P * E_1 * E_2 * (R_1 + R_2) / L * (E_1 + E_2) * R_1 * R_2 \}^{1/2} \text{ kg/mm}^2 *$$

\* 石橋 正 著『設計を主とした金属の強さ』より:

P=加圧力 kg (油圧×シリンダー面積)・・・11,000kg

L=接触幅 mm (ロール幅)・・・155mm

E<sub>1</sub>,E<sub>2</sub>=ロールとチップ素材の弾性係数(ヤング率) kg/mm<sup>2</sup>

ロール・・・21,000 kg/mm<sup>2</sup>

杉・・・800 kg/mm<sup>2</sup>

\*:中川木材産業株式会社ウェブサイト (<http://www.wood.co.jp/exmk/index8.html>) より

『機械工学便覧(改訂第5版)』p.5-108 杉の曲げ縦弾性係数 5.5~10.0×10<sup>4</sup> kg/cm<sup>2</sup>

R<sub>1</sub>,R<sub>2</sub>=ロールとチップ素材の曲率半径 mm

ロール・・・225mm

チップ・・・∞

(層が圧密されて素材と同等になった状態の平板と見做す)

ヘルツの式に上記の値を代入すれば 9.21 kg/mm<sup>2</sup>・・・90.33 MPa

平均応力 20MPa を目標として加圧力を設定したが、最大応力はその 4.5 倍にも達した。

チップの内部構造改変が目的である以上粒子内最大応力を一定にするように加圧する必要があり、ヘルツの式を逆算して加圧力を算定することができる。

#### ⑥ チップ層の圧縮特性における弾性係数の算定

前項で文献から採用した弾性係数(ヤング率)は木材のものであり、チップ圧密層のものとは異なる。又、チップ層が加圧されて圧密する過程でも弾性係数は変化する。したがって、どの段階の弾性係数を計算に使用すべきか検討が必要になる。そのため、チップ層が圧縮される過程を検討し、類似の条件で試験を実施した。

##### (a) チップ層加圧の圧縮特性の予想

「干渉破碎」状況におけるチップ層の圧縮特性は加圧開始から3段階に別けられる。

##### 第1段階 チップ粒子外空隙率の減少

初期の荷重によりチップ周辺の空隙を支えている部分に集中的に応力が発生し、その部分の変形や、粒子の移動で空隙率が減少し、層厚が収縮する。僅かの荷重で大きい収縮量を示し、荷重を除去しても移動した粒子は元に戻らず、膨張量はごく一部に留まると想定される。この段階は試験全体を通じた収縮量の大部分を示すと予想される。

##### 第2段階 チップ粒子内空隙率の減少

粒子内部空間の変形で空隙率が減少し、層厚が収縮する。荷重を除去しても膨張量は一部に留まると予想される。

##### 第3段階 チップ粒子内組織の破壊

粒子内部の組織の破壊で空隙率が減少し、層厚が収縮する。収縮量は少なく、荷重は急激に増大すると予想される。荷重を除去しても膨張量はごく一部に留まり、表面組織の破壊も観察されると予想される。

粒子内応力の目標を 20MPa と想定した圧縮特性を図 44 に示す。圧縮開始当初は僅



かの反力で収縮するが、図に示した直線的な変化ではなく、上向きに凹な曲線なると予想される。荷重を除去しても収縮量を回復することはない。したがって、ロール通過前後でチップの嵩密度は増大する（再度分散して測定すれば大部分復旧する）と考えられ、応力分布もロール中心を結ぶ線に対して対称にはならない。

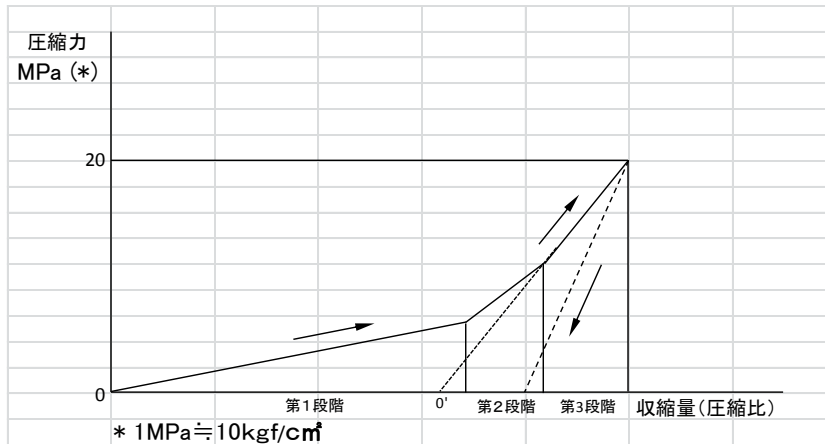


図 44 チップ層圧縮特性

最大応力の算出に必要な圧密されたチップ層の弾性係数は第 3 段階の直線部分から測定が可能ではないかと予想した。

(b) チップ層圧縮特性の測定

圧縮特性の測定はアムスラー万能試験機など平面で圧縮することが必要であるが、その用意が無かったので、加圧に使用したロール破砕機のロール間にチップを充填し、シリンダーの油圧を順次増加させて、ロールギャップの収縮量をロール軸受ブロック間隔で測定した。加圧開始の初期ロール隙間は、30mm と 50mm の 2 種類とし、軸受ブロックが接触した場合（最小のロールギャップ）のロール隙間は乾燥基礎試験の試料を加圧した場合と同様に 1.5mm とした。

測定装置の概念図を図 45 に、データに基づき作成した圧縮特性を図 46 に示す。

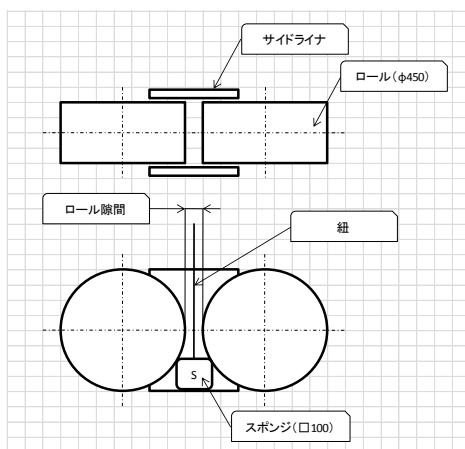


図 45 測定装置の概念図

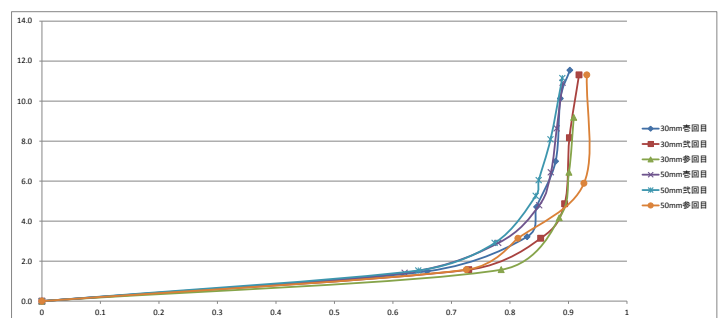


図 46 チップ層の圧縮特性(圧縮比—荷重 t)

圧縮比が小さい領域では上方への移動はフリーであり、下方もスポンジの収縮によりほぼフリーなので、圧縮試験機で加圧した場合はより低い荷重で圧縮比は増加する。しかし、実際のロール破砕機で加圧する場合はこの状況に近いかもしれない。圧縮比が小さい領域ではチップ層に含まれる空気が排除されている段階であり、ヘルツの式で採用できる弾性係数は圧縮比 0.8 以上の領域で算出が可能と思われる。しかしながら、加圧を円筒形状のロール面で実施したため、加圧面積を特定できず、弾性係数の測定は今回課題として残った。

ヘルツの式で採用できる弾性係数が得られる限界圧縮比へのアプローチにチップの嵩密度と木材の気乾比重から推定する方法を考えた。今回試験を実施した針葉樹切削チップ（水分 30～34%）の嵩密度は 0.20 であり、木材（杉）の気乾比重は 0.30～0.45\* である。嵩密度 0.20 のチップを 0.30～0.45 の木材並みに圧縮するには、0.333～0.556 の比で圧縮しなければならない。このことは圧縮比 0.8 以上が必要とした前述した試験の結果と異なり、円筒で圧縮した今回の試験では相当量のチップが上下方向に移動したことが推測される。

\*『木材工業 9～11』、『機械工学便覧（改訂第 5 版）』p.5-107

#### ⑦ 今回の試験で実施した加圧条件

ロールへのチップ供給量より初期層厚  $h$  m を求める。 (試験 1 加圧条件の場合)

チップ供給量	$W$ kg/h	(1000kg/h)
嵩密度	$\gamma$ kg/m <sup>3</sup>	(200kg/ m <sup>3</sup> )
体積処理量	$W/\gamma$ m <sup>3</sup> /h	(5.00 m <sup>3</sup> /h)
ロール周速	$u$ m/min ···· 60× $u$ m/h	(160×60 m/h)
ロール幅	$B$ m	(0.155m)
供給（初期）層厚	$h = (W/\gamma) / (B \times 60 \times u)$ m	(0.00336m)

ロールの直接接触を防止し、「干渉破砕」の条件  $s < h$  を充たすため、軸受ブロック間にスペーサを取り付け、初期ロールギャップ  $s$  を 1.5mm として加圧を実施した。1.5mm まで圧縮した場合の圧縮比（収縮割合）は  $(h-s)/h = (3.36-1.5)/3.36 = 0.55$  になる。

試験 1 で使用した針葉樹切削チップは厚さ(最小辺)が 5～3mm のチップが大部分であり、ロールギャップが反力で拡張されない限り、チップの相当部分は「単粒子破砕」として大きな内部応力が発生したものと推測される。根拠に乏しいが、ヘルツの接触応力の計算結果からみても、内部最大応力は目的とする 20MPa を大幅に上回っていたのではないかと推測される。

#### ⑧ ロール破砕機における高含水率チップの水分滲出の影響

今回の加圧乾燥基礎試験では、当初製作直後のチップを持ち込み、ロール破砕機で加圧した。一般に水分が高く、60%を超えるものが見られた。それらのチップをそのまま加圧した場合、チップ表面に水分が滲出し、ロールとの摩擦抵抗を減少させてロール間への噛み込みが不能に陥る事がしばしば見られた。水分が滲出し、これを脱水操作に利

用することは公知の技術であるが、高速で加圧処理を実施しようとする今回の目的からすれば克服すべき一つの問題点である。当面はチップを天日乾燥して水分を低下させて使用したが、実用機としては高含水率のチップでもそのまま使用できるように、ロール径の拡大やロール表面の摩擦係数増大等の改善が必要であろう。

### 3-2. チップ乾燥・排出機試験

#### 3-2-1. 試験結果

(1) 乾燥（温度）記録とサイロ内温度分布（12月16日）

2-2-2で実施した試験の状況を図 47 に、熱電対の測定結果を図 48~図 51 に示す。また熱電対測定データをもとに、加温後の特定時間におけるチップの温度分布図を推計した結果を図 52~図 58 に示す。

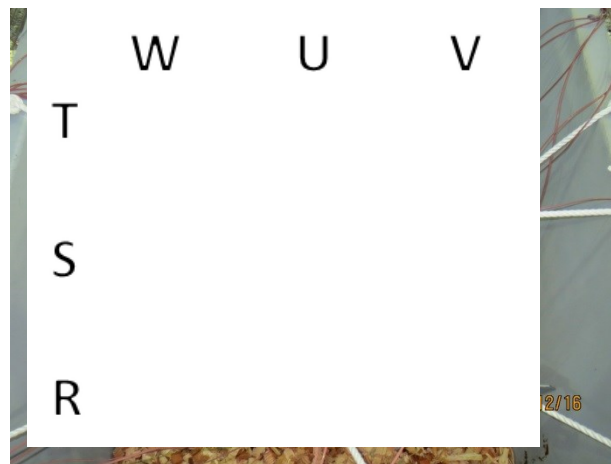


図 47 乾燥試験時サイロ上部

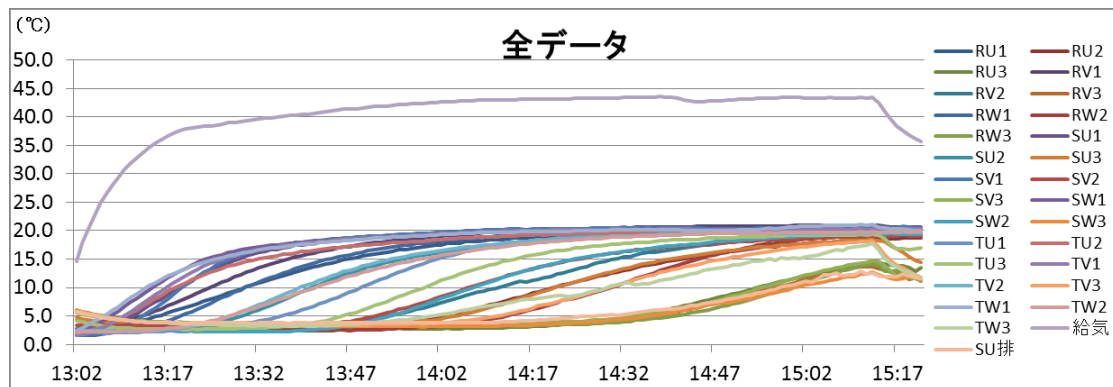


図 48 温度経過（12月16日 全データ）

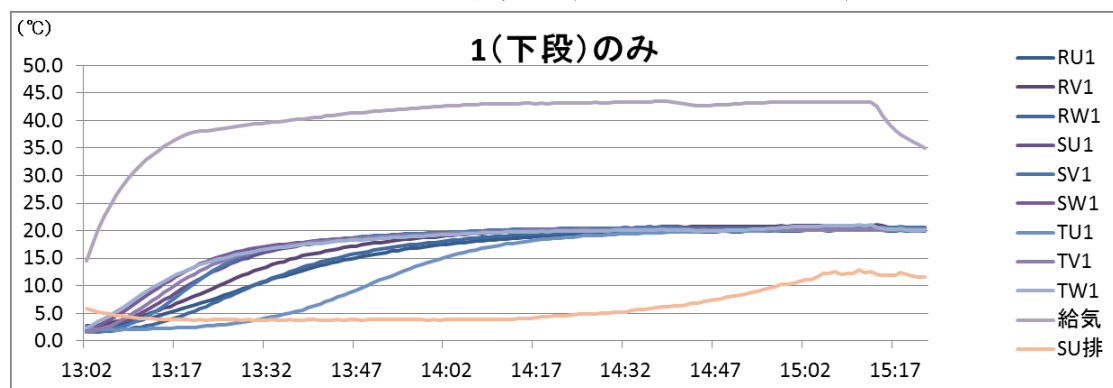


図 49 温度経過（12月16日 下段）