

平成21年度戦略的基盤技術高度化 支援事業(補正予算) 事業成果報告

「事業名: SUS材に波状交差突起を
温間プレス成型する加工技術の開発」

- 事業管理者 有限会社 和氣製作所
- 総括研究代表者 生田四郎
副総括研究代表者 和氣庸人
- 説明者 和氣庸人

プロジェクトの概要

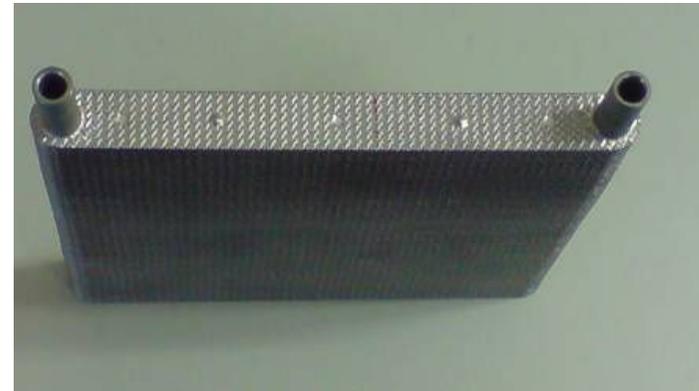
従来技術

従来の熱交換器はフィンを介して集め、チューブ内の水に伝えていた（フィン付チューブ型熱交換器）。排気ガスに含まれる腐食性分に耐久性の高いステンレス材を用いている。この材料は熱を伝えにくいので多くのフィンやチューブが必要になり、熱交換器の容積や重量が増加する



新技術

- ①排気ガスの熱を直接チューブ壁面でチューブ内の水に伝えるようにしたことにより小型で高性能な熱交換器とする
- ②チューブ壁面で熱の伝導を高める突起をプレス工法で成形
- ③突起は東京大学にて開発された波状交差突起
- ④上下タンク、座板、フィンを排して軽量化する
- ⑤小型、軽量



平成21年度の研究開発課題

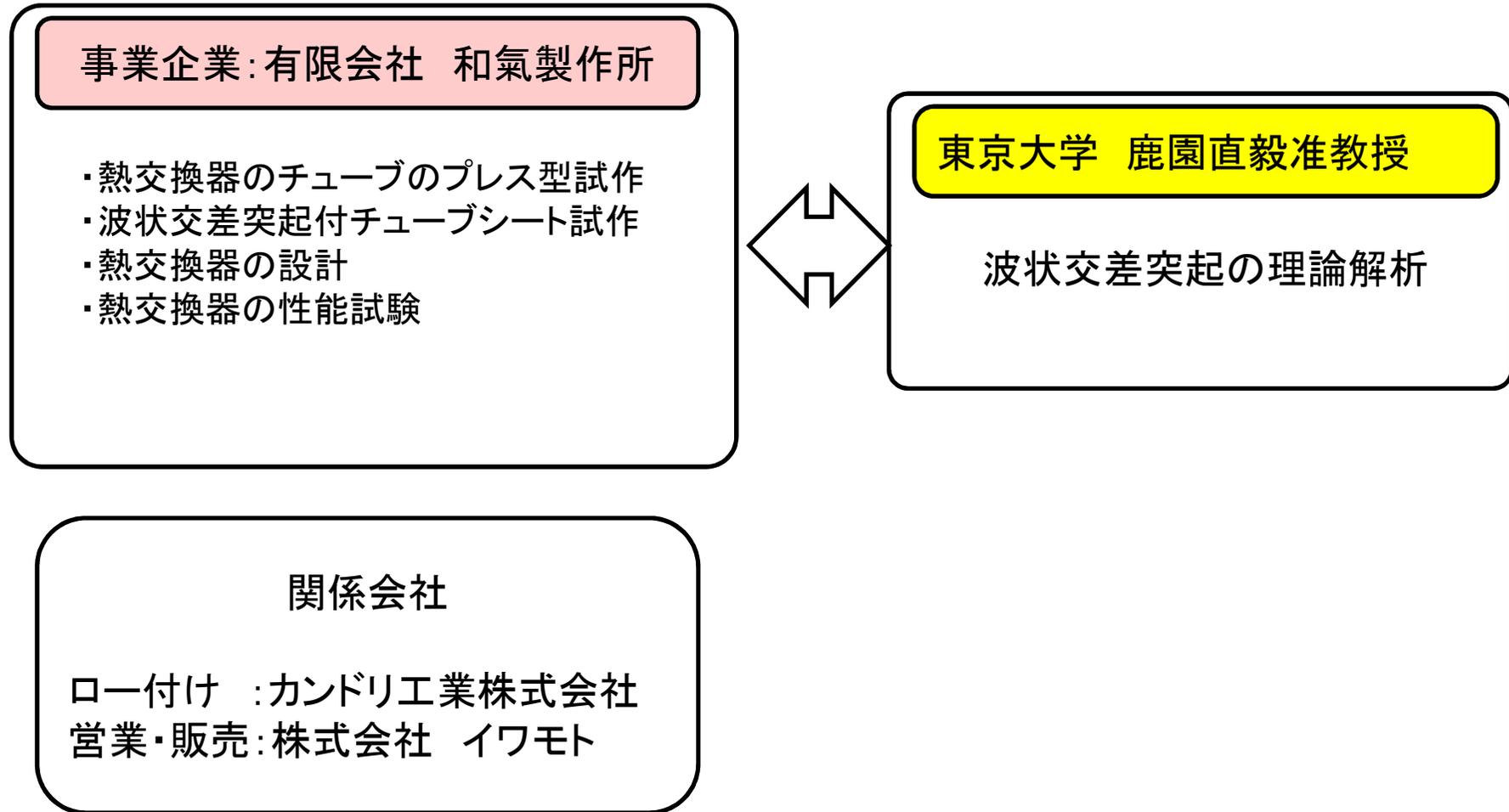
技術的課題

- (1) 熱交換器の小型・軽量化:
 - 波状交差突起のチューブ壁面上への配置
 - 波状交差突起の傾斜角度、高さ、ピッチの最適化

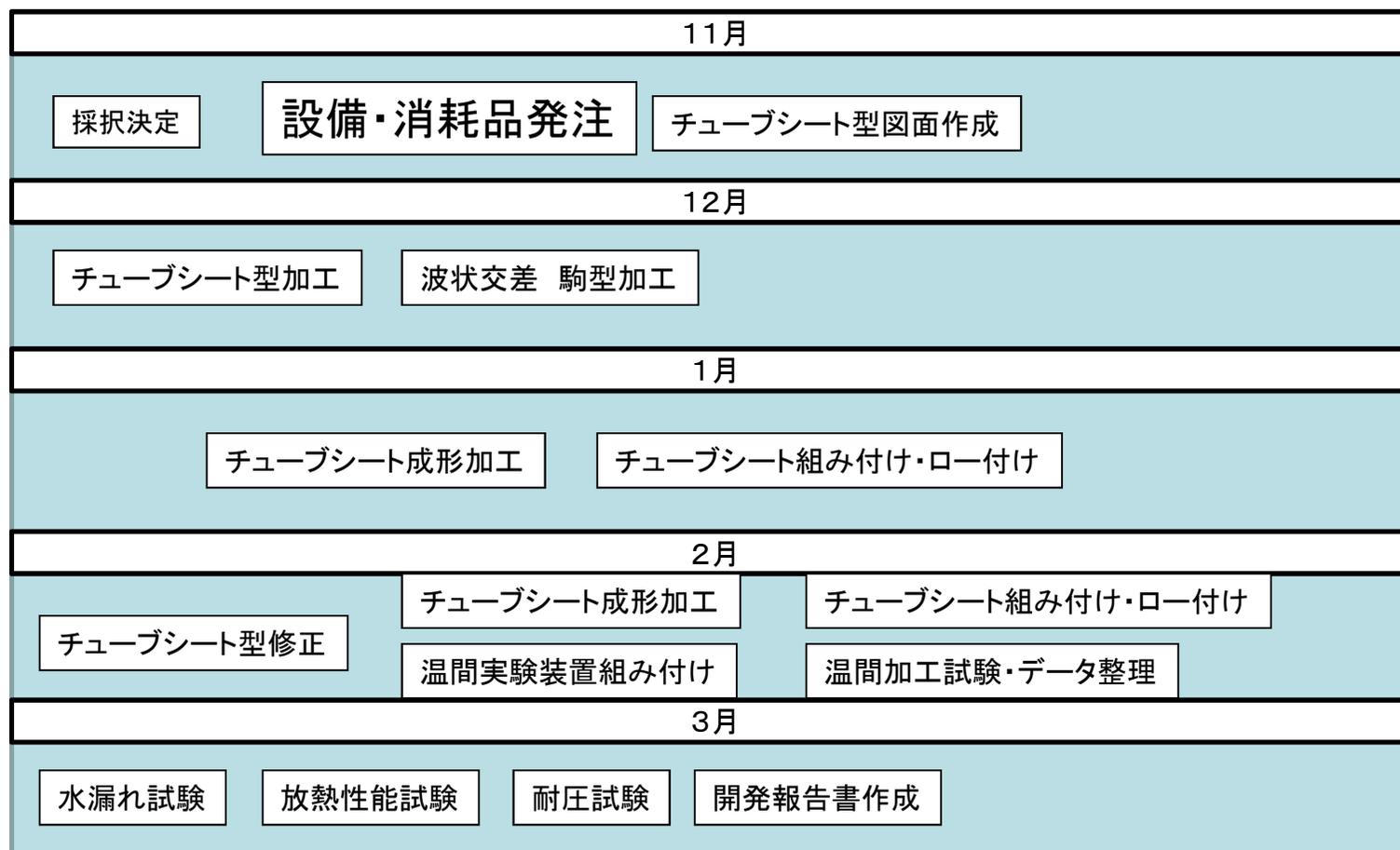
- (2) 量産金型の波状交差突起の加工時間の短縮

- (3) SUS材の加工後のスプリングバック防止:
 - 温間プレス工法の開発
 - ①加工温度
 - ②材料強度(引っ張り、硬さ)
 - ③金型材料

プロジェクトの実施体制 (1)



プロジェクトの実施体制（2）



平成21年度の研究開発報告 伝熱基礎(1)

波状交差突起(斜交波状)とは

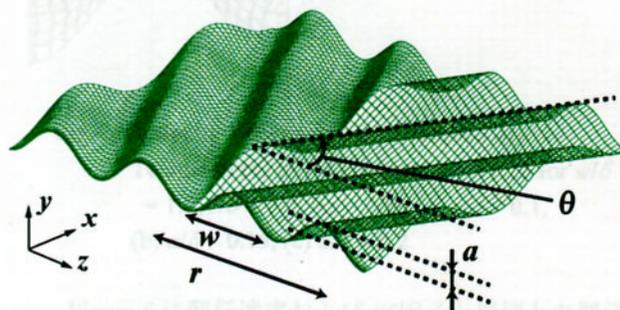


Fig.2 Oblique-Wave Shape and Parameters

波状交差突起の性能特性

- Re=246 $w/\delta=1.0$ 、 $a/w=0.15, 0.2$
付近で j/f が増加
- Re=411 $w/\delta=0.5$ 、 $a/w=0.15, 0.2$
付近で j/f が増加
- Re=246 $w/\delta=0.5$ 、 $r/w=1.0$
付近で j/f が最大
- Re=246 $w/\delta=1.0$ 、 $r/w=1.0\sim 2.0$
付近で j/f が最大

波状交差突起の可能性

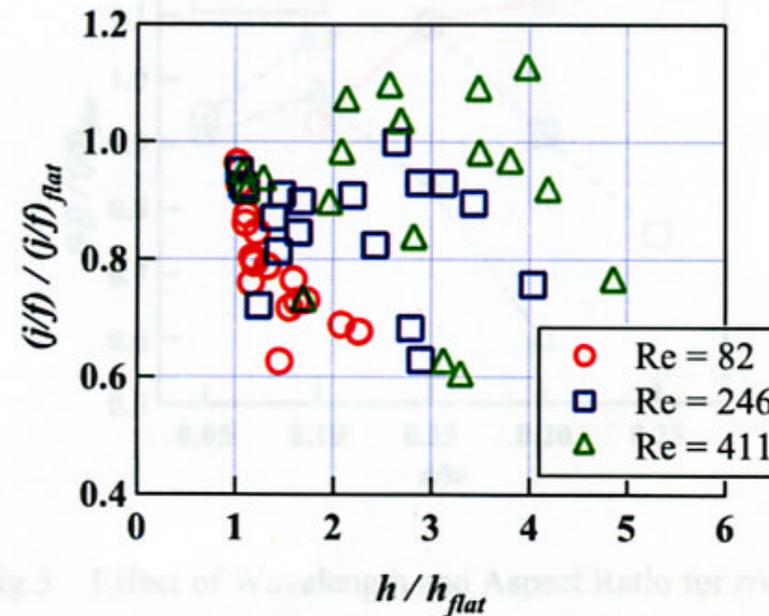


Fig.3 Heat Transfer Coefficient and j/f Factor at Re = 82, 246, 411

A208斜交波状面の伝熱促進効果に関する研究、福田健太郎、鹿園直樹、2007日本冷凍空調学会年次大会講演論文集

平成21年度の研究開発報告 伝熱基礎(2)

再委託先: 東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻
鹿園 直毅准教授の研究内容

報告書 : 平成21年度 斜交波状突起の伝熱性能評価
研究内容: 斜交波状突起の角部、位相不整合、振幅の変形に関する数値解析
結果 : (1) どの形状変更においても、J因子(≡放熱性能)の低下度合いが
f因子(抵抗損失)の低下よりも大きい。高レイノルズ数域の低下
は低レイノルズ数域よりも大きい
(2) 形状変更による低下度合いは、振幅、位相不整合、角部の順に
小さくなる
(3) 位相不整合については対向する伝熱面の相対的な位相ずれの
影響が大きい

特に注意 (1) 振幅の低下は影響が大きい
(2) 角部近傍まで正弦波形状とする
(3) フィンのように折り曲げる形状には位相ずれをしないように

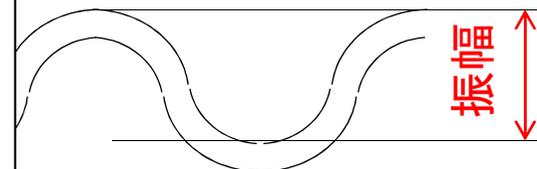
平成21年度の研究開発報告 温間加工(2)

振幅の増加

現状

SUS材 板厚0.1mm に室温にて
波状交差突起をプレス成型

振幅	目標	0.3mm
	現状	0.1mm



本事業

技術改良

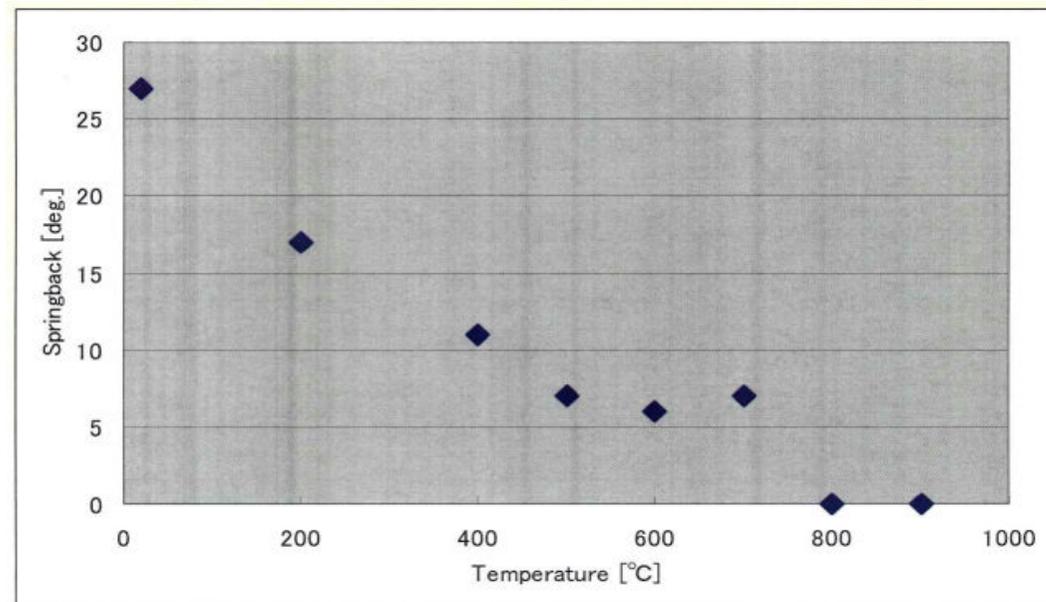
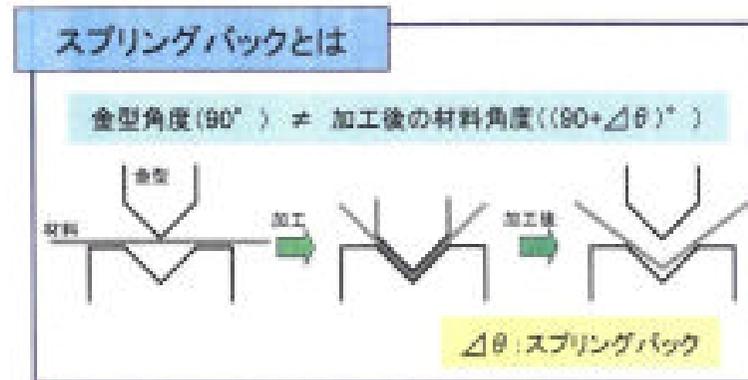
温間プレス成型加工技術を用いて振幅の増加



技術アドバイスを東京大学生産技術研究所機械・生体系部門 高次機能加工学
柳本 潤教授にして戴きました。

平成21年度の研究開発報告 温間加工(2)

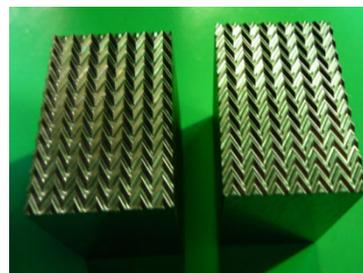
温間領域の加工の効果



資料提供: 東京大学生
産技術研究所機械・生
体系部門 高次機能加
工学柳本 潤教授

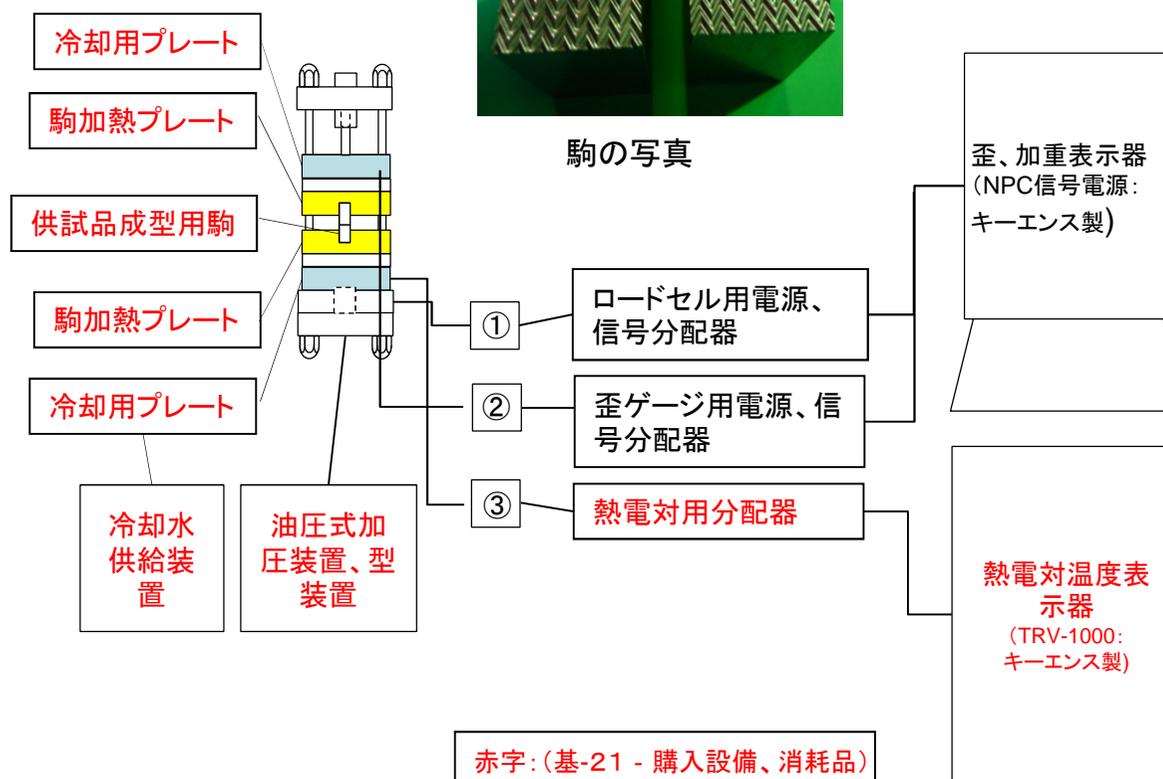
平成21年度の研究開発報告 温間加工(2)

SUS材の加工後のスプリングバック防止：
温間プレス工法の開発



駒の写真

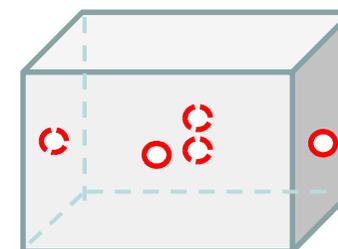
実験装置



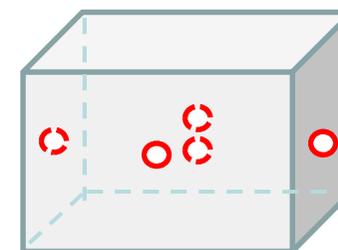
平成21年度の研究開発報告 温間加工(2)

熱電対の設置位置と計測結果の代表例

設置場所	記号	ブロック番号	チャンネル番	熱電対	100℃	200℃	300℃
1 駒上中央	CU	1	1	K型-1.6	98.5	204.7	313.1
2 駒下中央	CL	1	2	K型-1.6	99.8	202.3	296.8
3 駒背面上型	BU	1	3	K型-1.6	95.55	201.8	299.1
4 駒背面下型	BL	1	4	K型-1.6	99	201.1	294.7
5 駒右上型	RU	1	5	K型-1.6	100.25	211.9	314.2
6 駒右下型	RL	1	6	K型-1.6	103.05	214.3	310
7 駒左上型	LU	1	7	K型-1.6	96.75	217.2	301.5
8 駒左下型	LL	1	8	K型-1.6	103.6	215.3	311.9
9 駒前面上型	FU	2	1	K型-1.6	101.25	214.7	310
10 駒前面下型	FL	2	2	K型-1.6	(ヒータ制御用)		
11 架台支柱前面左中央	PFL	2	3	K型-1.6	20.7	20.8	23.35
12 架台支柱前面右中央	PFR	2	4	K型-1.6	20.85	21.05	23.65
13 架台支柱後面左中央	PBL	2	5	K型-1.6	20.9	20.65	23
14 架台支柱後面右中央	PBR	2	6	K型-1.6	20.8	20.55	23.05
15 冷却水入口	Win	2	7	K型-1.6	26.45	23.2	26
16 冷却水出口	Wout	2	8	K型-1.6	20.75	8.9	20.5
17 室温	T	3	1	K型-1.6	22.65	23	25.25
18 型上	PU	3	2	未設置			
19 型下	PL	3	3	未設置			
20 駒上面上型	UsU	3	4	未設置			
21 駒上面下型	UsL	3	5	未設置			
22 駒下面上型	LsU	3	6	未設置			
23 駒下面下型	LsL	3	7	未設置			
24		3	8	未設置			



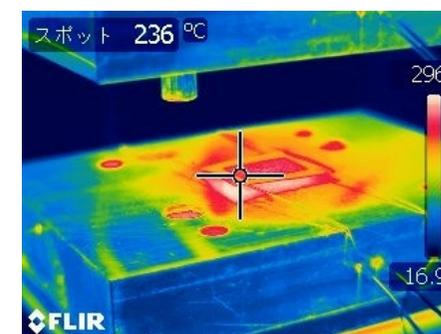
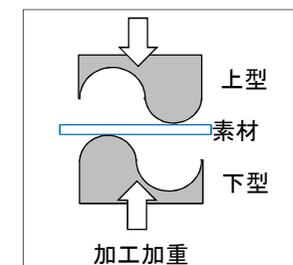
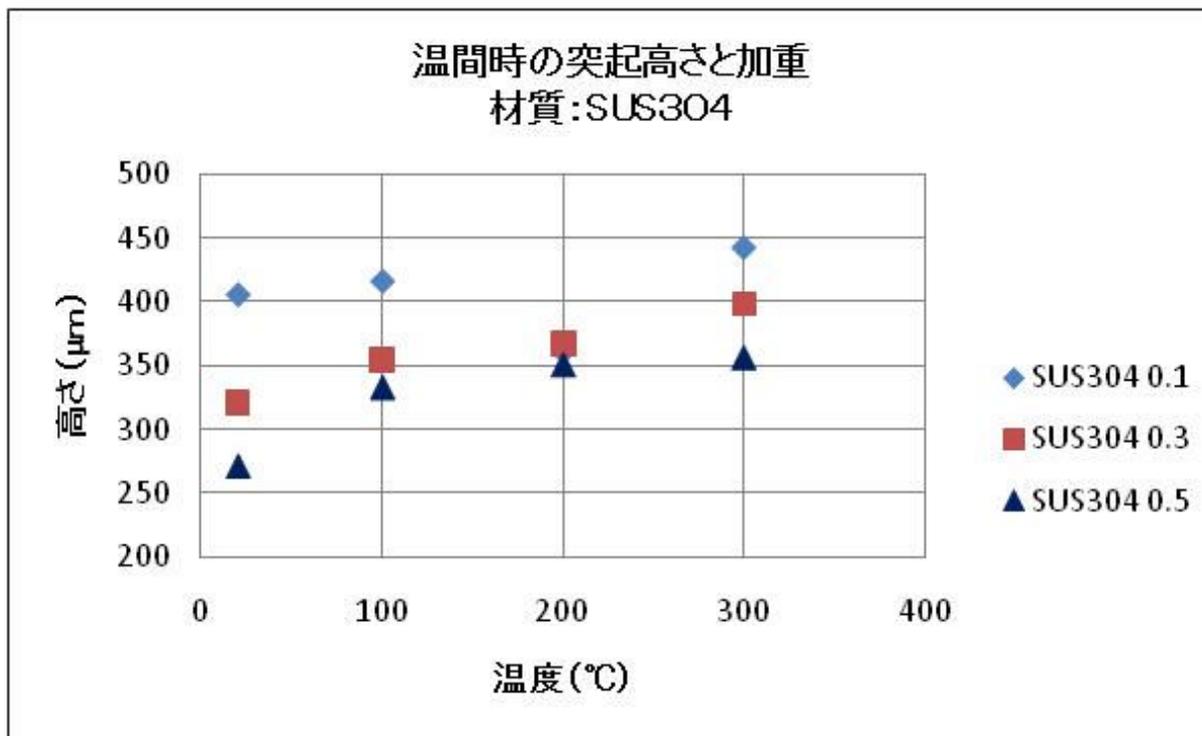
駒上型



駒下型

平成21年度の研究開発報告 温間加工(2)

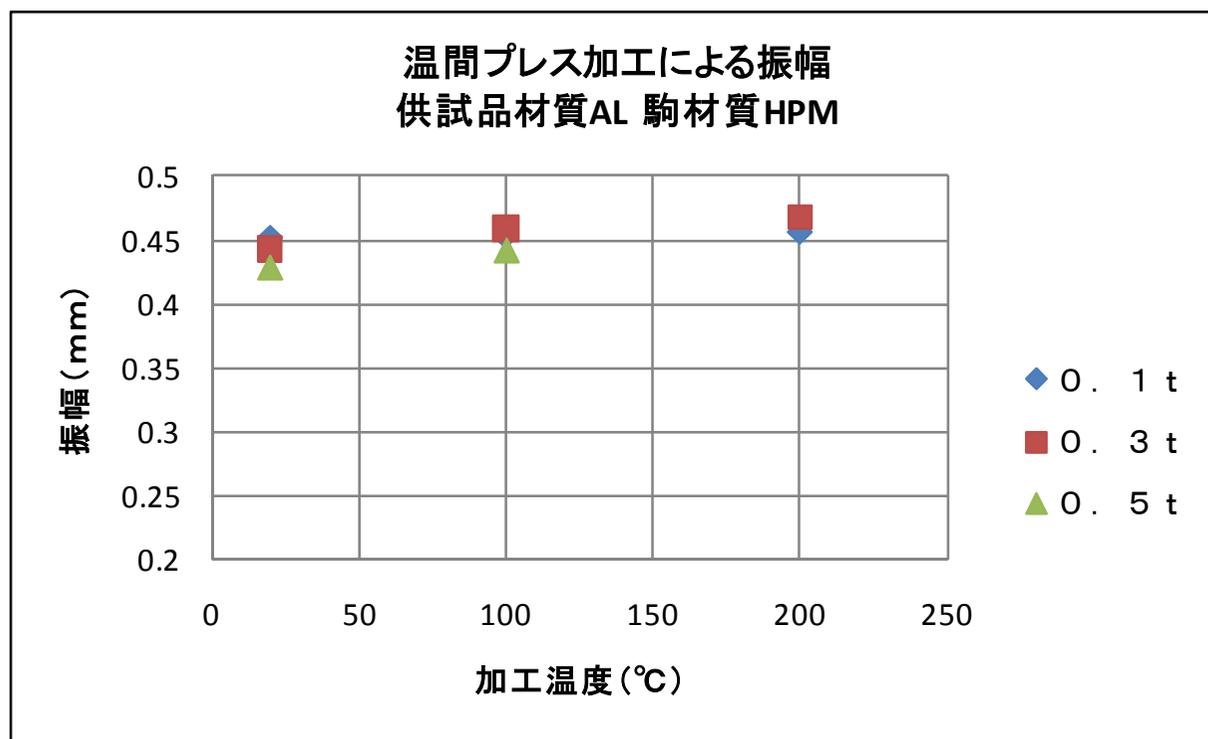
SUS材の加工後のスプリングバック防止：
温間プレス工法の開発



温間プレス成型による振幅の増加

平成21年度の研究開発報告 温間加工(2)

SUS材の加工後のスプリングバック防止：
温間プレス工法の開発



供試材料アルミ材の温間プレス成型による振幅の増加

平成21年度の研究開発報告 加工時間の短縮(3)

量産金型の波状交差突起の加工時間の短縮

各種の表面加工手段後に、表面粗さを測定しその結果を以下の表に示す。電子ビーム加工が最も滑らかに表面を加工できた。この結果を駒型の最後の仕上げに工法に用いる。

NO	ワーク種類	表面粗さ 加工前 (μm)	表面粗さ 加工後 (μm)	加工時間 (個)	加工時間 (4個)	社内/外注	
1	通常加工(ドリル切削)	1.89	1.76	2時間	8時間	社内	
2	電子ビーム	1.89	1.09	3日間	3日間	外注	
3	ワイヤ放電	—	1.49	45分	6時間	社内	(H21年度導入設備)
4	型彫放電	—	1.17	4日間	4日間	外注	
5	TiCN	1.89	1.08	3日間	3日間	外注	
6	CrN	1.89	1.16	3日間	3日間	外注	
7	スリックコート	1.89	1.57	3日間	3日間	外注	
8	ヴェーナスコート	1.89	1.3	3日間	3日間	外注	
9	ダイナモコート	1.89	1.28	3日間	3日間	外注	
10	ショットブラスト	1.89	1.92	3日間	3日間	外注	

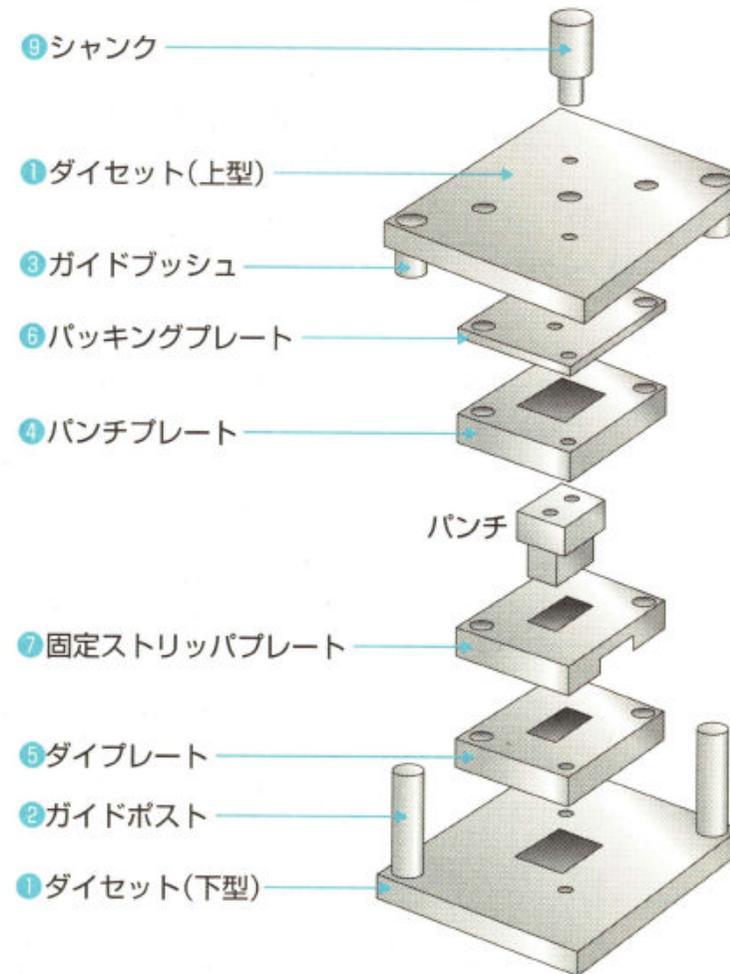


平成21年度の研究開発報告 金型加工精度向上(4)

プレス金型の加工精度向上

金型は右図のように多数の金属プレートを重ねてピンで固定して用いる。この為、ピンの加工位置が加工精度に非常に重要となる。
本事業にて購入したCNCアクティブスキヤニング3次元座標測定機にて各プレートのピンの位置を計測した結果を以下に示す。

- ①ピッチ精度は0.01を予想していたが最大で0.0461ものピッチ誤差も確認された。
- ②このピッチ寸法のばらつきの原因とは
機械側の制御装置の不具合
ワイヤ加工機周辺のプレス機による振動の影響
などがあげられる。



平成21年度の研究開発報告 金型加工精度向上(4)

型を構成するプレートのノックピンとガイドピンの位置を計測し設計値と比較を示す

設計寸法との差異を示す

赤字: 20 μ 以上

赤太字: 30 μ 以上

機械加工:

3軸NCシステムマシン

計測器:

CNCアクティブスキャ
ニング3次元座標測定機

差異の原因は不明。
調査中

プレート	座標		ノックピン1	ノックピン2	ノックピンピッチ	ガイドピン1	ガイドピン2	ガイドピンピッチ
1	X	設計値	42	188	146			
	X	実測値	42.0171	188.0184	146.0013			
	Y	設計値	80	45	35			
	Y	実測値	80.033	44.9956	35.0374			
2	X	設計値	27	173	146	27	173	146
	X	実測値	27.0241	173.0093	145.9852	27.0052	173.0296	146.0244
	Y	設計値	80	45	35	98	27	71
	Y	実測値	80.0381	45.0093	35.0288	98.0362	26.9817	71.0545
3	X	設計値	27	173	146	27	173	146
	X	実測値	27.0248	173.0106	145.9858	27.0042	172.9739	145.9697
	Y	設計値	80	45	35	98	27	71
	Y	実測値	79.9983	44.9757	35.0226	98.009	26.9983	71.0107
4	X	設計値	27	173	146	27	173	146
	X	実測値	26.9828	172.9962	146.0134	26.9929	172.9982	146.0053
	Y	設計値	80	45	35	98	27	71
	Y	実測値	80.0096	45.018	34.9916	98.0117	27.0167	70.995
5	X	設計値	27	173	146	27	173	146
	X	実測値				26.9673	172.9637	145.9964
	Y	設計値	80	45	35	98	27	71
	Y	実測値				97.9829	26.9673	71.0156
6	X	設計値	27	173	146	27	173	146
	X	実測値	27.0076	172.9132	145.9056	27.0119	173.0126	146.0007
	Y	設計値	80	45	35	98	27	71
	Y	実測値	80.0111	44.9688	35.0423	98.0275	26.9697	71.0578
7	X	設計値	52	198	146			
	X	実測値	51.9975	197.979	145.9816			
	Y	設計値	107.5	72.5	35			
	Y	実測値	107.546	72.5408	35.0064			

平成21年度の研究開発報告 性能向上(5)

熱交換器の小型・軽量化:波状交差突起のチューブ壁面上への配置

波状交差突起の種類と計測予定表を以下に示す。

	駒①	駒②	駒③	駒④	駒⑤	駒⑥	駒⑦	駒⑧
ピッチ	25	3	35	3	3	3	3	3
角度	30	30	30	45	60	30	30	30
高さ	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5
完成日	1月18日	1月29日	2月8日	2月23日	3月5日	3月17日	3月29日	3月29日
試作台数	10台	10台	5台	5台	5台	5台	5台	5台
穴空きインナー	100×10	100×10	100×5	100×5	100×5	100×5	100×5	100×5
穴空きアウター	100×10	100×10	100×5	100×5	100×5	100×5	100×5	100×5
穴なしインナー	10	10	5	5	5	5	5	5
完成台数	5台	5台	3台	3台	3台	3台	3台	3台
放熱試験	1台	1台	1台	1台	1台	1台	1台	1台
耐圧試験	1台	1台	1台	1台	1台	1台	1台	1台
ロー付し試験	1台	1台	1台	1台	1台	1台	1台	1台

シート形状の不具合により駒④までの完成したが、⑤から⑧までは未完成である

平成21年度の研究開発報告 性能向上(5)

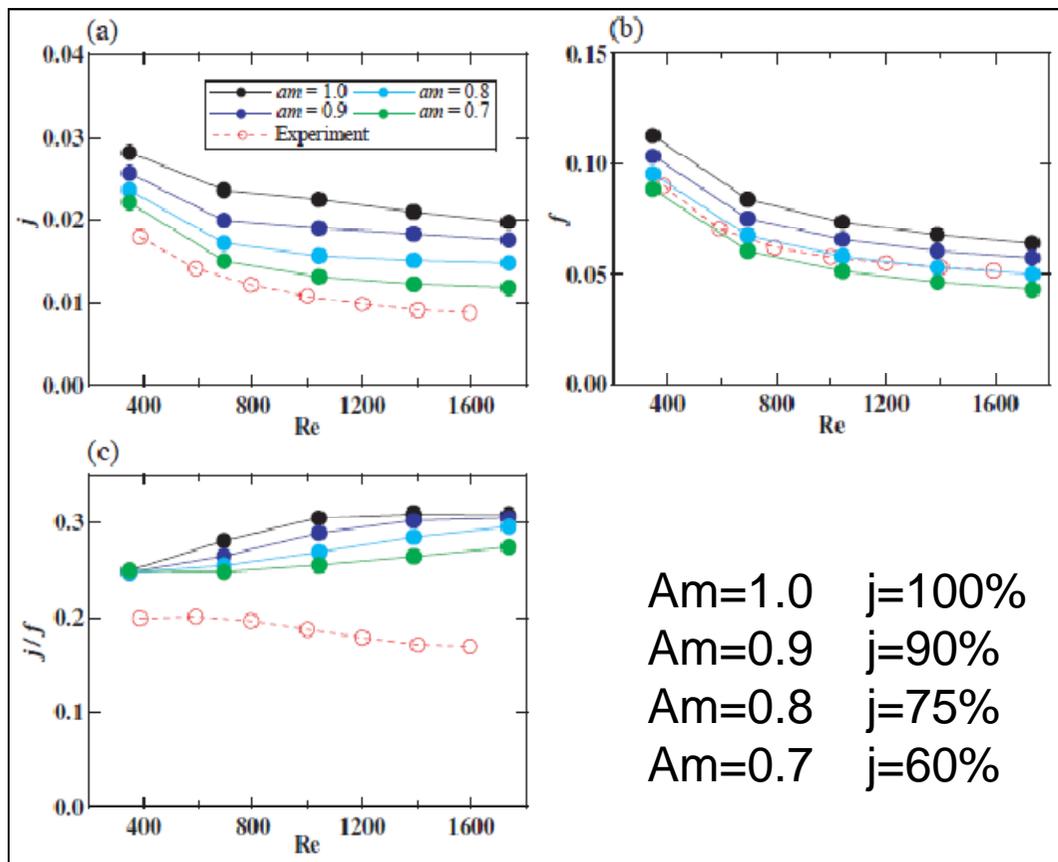
熱交換器の小型・軽量化：波状交差突起のチューブ壁面上への配置

駒型形状、焼き付け前の供試品形状、焼き付け後の供試品形状を計測した結果を以下の表に示す。駒の振幅は0.5mm、焼き付け前の供試品の振幅は0.23mm、焼き付け後0.22mm。焼き付け後振幅は駒の振幅の50%に低下している。

	目標値	駒		チューブ		目標値に対し
		データの平滑化処理		データの平滑化処理		
		上型	下型	打ち出し後	ロー付け後	
駒NO	溝の高さ	溝の高さ	溝の高さ	溝の高さ		
1	0.3	0.499		0.228	0.221	76
2	0.3	0.516		0.234		78
3	0.3	0.495		0.224		75
4	0.3	0.493		0.263		88
5	0.3	0.491		0.274		91
6	0.2	0.39		0.133		67
7	0.4			0.348		87
8	0.5			0.418		84

平成21年度の研究開発報告 性能向上(5)

突起の振幅が熱伝達率(放熱性能)に及ぼす影響



(東京大学鹿園教授資料:「斜交波状突起の伝熱性能評価」から抜粋)

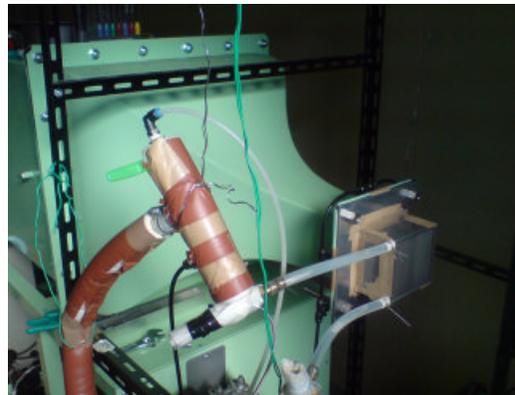
平成21年度の研究開発報告 性能向上(5)

熱交換器の小型・軽量化:波状交差突起のチューブ壁面上への配置

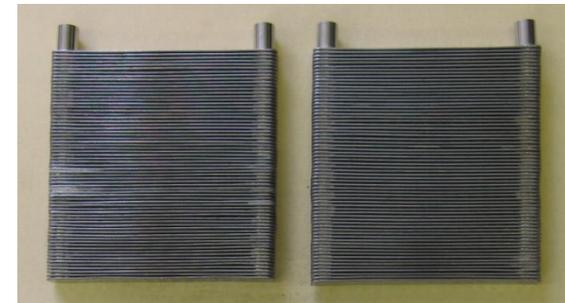
- ①放熱量計測装置 :ツクバリカセイキ(株):マイクロ熱交換器性能試験装置
(平成20年度産・学・公助成事業で購入 東京都中小企業振興公社)

②駒①のコアの写真

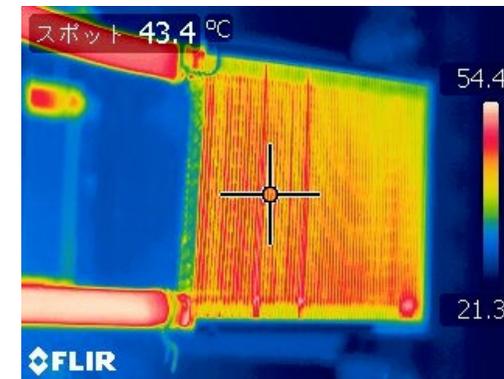
横幅 100mm
高さ 100mm
厚さ 12mm
チューブピッチ 1.5mm
チューブ枚数 69枚
チューブ板厚0.1mm
波状交差突起
ピッチ2.5mm
角度30度
高さ 0.3mm



性能試験装置



供試品外観形状



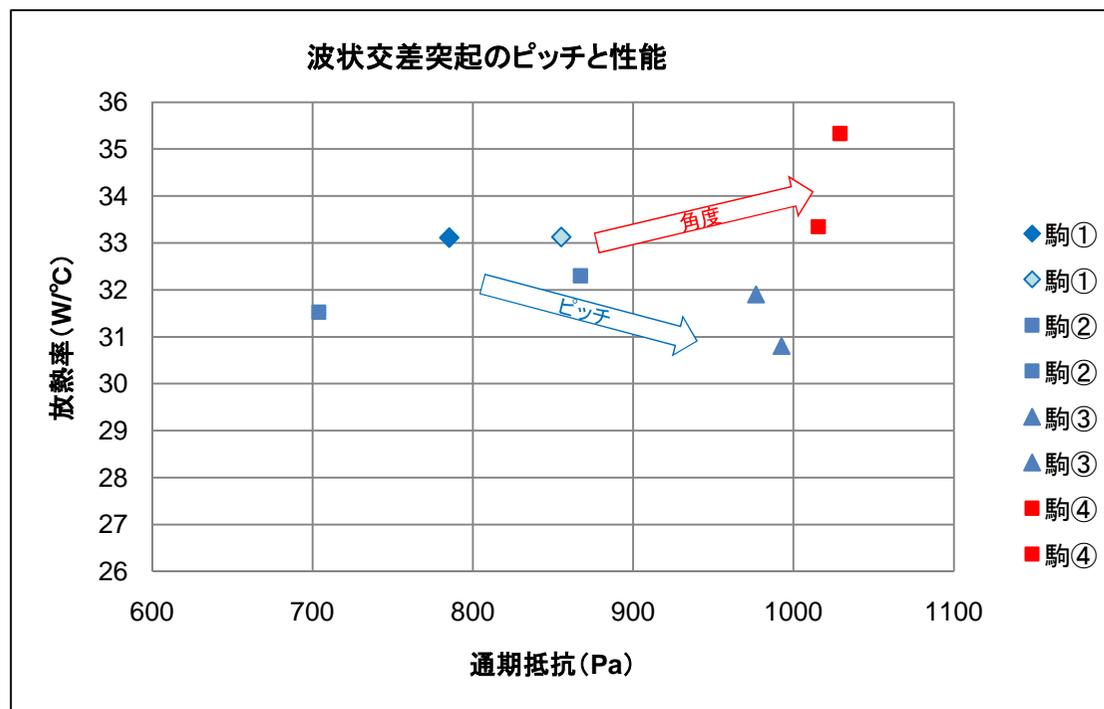
性能試験中のコアの表面温度分布

平成21年度の研究開発報告 性能向上(5)

熱交換器の小型・軽量化: 波状交差突起のチューブ壁面上への配置

	駒①	駒②	駒③	駒④	駒⑤	駒⑥	駒⑦	駒⑧
ピッチ	2.5	3.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
角度	30.0	30.0	30.0	45.0	60.0	30.0	30.0	30.0
振幅	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5

波状交差突起のピッチが大きくなるとチューブ面上の密度が粗くなり放熱性能は低下する傾向にあることが判明した。駒型の加工はピッチが粗くなると容易になり加工精度は高くなるが、工数は増大する。



平成21年度の研究開発報告

まとめ

- 1) 波状交差突起の振幅が最も性能に影響する
- 2) 波状交差突起のピッチは小さく、角度は30度より大きいと抵抗が増大
- 3) 常温に比べて温間時に加工すると振幅を高く加工できる
- 4) 板厚毎に適切な駒形状を設定する必要がある
- 5) 駒の仕上げ加工方法は電子ビーム加工が最も滑らかに加工できる
- 6) 金型プレートの組み付けの為にピンやガイドの位置加工は現在の工法では誤差が大きいことが判明した

平成22年度の研究開発内容

技術的課題の解決方法

(1) 熱交換器の小型・軽量化 : 波状交差突起のチューブ壁面上への配置

H21年度

- ① 波状交差突起の傾斜角度の最適化
- ② 突起の高さとチューブピッチの最適化
- ③ チューブの幅と突起の横方向ピッチの最適化

開発研究を行った結果、各形状要因と性能の関係、形状とプレス加工成形の関係が把握できた。

H22年度

小型化軽量化に対して

- ① 最も効果の高い波状交差突起の組み合わせによる試作を行い性能試験によって確認をする

(2) SUS材の加工後のスプリングバック防止: 温間プレス工法の開発

H21年度

- ① 加工温度
- ② 材料強度(引っ張り、硬さ)
- ③ 金型材料

以上の各要因について、解析を行い、温間加工の成果が認められた。

H22年度

SUS製板厚0.5mmチューブシートに波状交差突起を温間プレス成型加工を実施し、その放熱性能の効果を確認する。

(3) 耐圧耐久性の向上

H21年度チューブシートの放熱試験を行った際にチューブシートの水圧による膨張が確認された。耐圧試験ではチューブ勘合部の破裂を生じている。

H22年度

- ① 波状交差突起同士の接合による内圧強度向上
- ② インナーフィン装着による内圧向上

平成22年度の実施スケジュール

	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
(1)熱交換器の 小型・軽量化	実験研究								まとめ	
(2)SUS材の加工 後のスプリングバック防止:温間プレス 工法の開発	実験研究								まとめ	
(3)耐圧耐久性の向上	実験研究								まとめ	

平成22年度の研究開発に必要な機械装置について

該当設備は予定なし

【様式2-4】

平成22年度研究資金内訳表

計画名	「SUS材に波状交差突起を温間プレス成型する加工技術の開発」			支援事業対象年度	平成22年				
(単位:千円) ※千円未満は切り捨て									
項目	事業管理機関			研究実施機関(再委託先)					
	有限会社 和氣製作所			合計	東京大学生産技術研究所	(機関名) ▽▽▽	(機関名) □□□	(機関名) ◇◇◇	(機関名) ☆☆☆
合計	管理業務	研究開発業務							
一般管理費率(%)					10.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
① 機器設備費	0	0							
ア. 機械装置費		0							
	0								
イ. 土木・建築工事費	0								
ウ. 保守・改造修理費	0								
エ. 外注費	0								
② 労務費	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ア. 研究員費	0		0	0	0	0	0	0	0
イ. 管理員費	0								
ウ. 補助員雇上費	0		0	0	0	0	0	0	0
③ 事業費	11,163	1,000	10,163	200	200	0	0	0	0
ア. 消耗品費	1,163	0	1,163	200	200	0	0	0	0
イ. 旅費・交通費	100	0	100	0	0	0	0	0	0
ウ. 委員会費	100	100							
エ. 報告書作成費	0	0							
オ. 外注費	8,900	0	8,900	0	0	0	0	0	0
カ. 知的財産権関連経費	900	900							
キ. その他特別費	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小 計 (①+②+③)	11,163			200	200	0	0	0	0
うち、一般管理費対象外経費				0	0	0	0	0	0
④ 一般管理費	0			20	20	0	0	0	0
⑤ 再委託費	220								
年 度 総 経 費	11,383			220	220	0	0	0	0
⑥ 消費税及び地方消費税(円)	569,150								
年 度 合 計	11,952,150								
※	欄は記載しないでください。								
※	「年度合計」以外は、税抜き額で積算してください。								

ヒアリングにあたって

- 当日は指定された時間の5分前に(株)ベンチャーラボ 本社までお越しください。
- 資料の電子媒体を4月28日(水)までにご提出ください。
- ヒアリング時間は30分程度を予定しております。冒頭30分間プレゼン、その後30分間は質疑応答となっております。(場合によって延長あり)
- 当日の説明は、21年度の研究開発成果を中心にプレゼンしてください。資料すべてを説明する必要はありません。
- ヒアリングを実施する者は、各技術分野に知見のある専門家です。製造産業課担当職員も傍聴します。
- プロジェクター及びパソコンの準備はありませんので、原則紙媒体でご説明ください。狭い会議室ですのでパソコンをお持ちくだされば画面を見ながらプレゼンすることは可能です。採択審査時のヒアリングと同会議室です。サンプルをお持ち頂くことも可能です。
- 出席者は、事業管理者及び研究実施者で構成し、2名～5名程度でご調整ください。