

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW



住友重機械技報

No.180

Dec.2012

ISSN 0387-1304



パワートランスミッション・コントロール小特集

Special Issue for Power Transmission & Controls

住友重機械技報 No. 180 2012

パワートランスミッション・コントロール小特集

論文・報告	タグチメソッドを用いた高効率誘導モータの開発	三成貴浩, 藤野泰充, 竹島 豊, 水谷清信	1
技術解説	風力発電機用 YAW駆動用減速機		7
新製品紹介	パラマックス® SCCシリーズ クレーン用減速機		9
	FPSO用歯車装置		10
	低温仕様 ハイポニック減速機・プレストNEOギヤモータ		11
	フォークリフト用誘導電動機		12
	超低騒音ブレーキ付き短時間定格ギヤモータ		13

論文・報告

	医療用画像合成技術の開発	山口 喬, 天野大三	15
	先端電池電極評価技術	中條晃伸, 井藤友恵, 石坂拓也, 勝田直子	21

技術解説

	CO ₂ レーザーを用いた銅箔直接加工に関する熱加工シミュレーション	岡田純一	25
	精密ステージ用モーション制御システム	羽角信義	29
	QuaPro-R 新型リーチフォークリフト	日南敦史	31

Special Issue for Power Transmission & Controls

T/PAPERS	Development of High Efficiency Induction Motor by Using Taguchi Method Takahiro MINARI, Yasuhiro FUJINO, Yutaka TAKESHIMA, Kiyonobu MIZUTANI	1
	T/INVITATIONS	YAW Drive for Wind Turbine Kiyoji MINEGISHI
NEW PRODUCTS	PARAMAX® SCC Series Crane Drives	9
	Gear Box for FPSO	10
	Low Temperature Specification-Hyponic Gearmotor & Prest Neo Gearmotor	11
	Induction Motor for Forklift Trucks	12
	Short Time Rating Gearmotor with Ultra Low Noise Brake	13

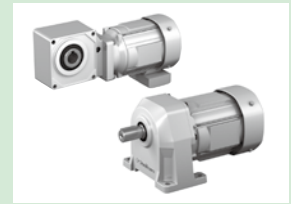
T / PAPERS

	Development of Technology for Medical Image Fusion Takashi YAMAGUCHI, Daizou AMANO	15
	Evaluation Technique for Advanced Battery Electrodes Terunobu NAKAJO, Tomoe ITO, Takuya ISHIZAKA, Naoko KATSUTA	21

T / INVITATIONS

	Thermal Processing Simulation for Cu Direct Infrared Laser Drilling Junichi OKADA	25
	Motion Control System for Precision Positioning Stage Nobuyoshi HASUMI	29
	QuaPro-R New Reach Fork Lift Truck Atsushi HINAMI	31

Special Issue for Power Transmission & Controls
パワートランスミッション・コントロール小特集



タグチメソッドを用いた高効率誘導モータの開発

Development of High Efficiency Induction Motor by Using Taguchi Method

● 三 成 貴 浩* 藤 野 泰 充* 竹 島 豊* 水 谷 清 信*
 Takahiro MINARI Yasuhiro FUJINO Yutaka TAKESHIMA Kiyonobu MIZUTANI



高効率誘導モータ試作機
 Prototype of high efficiency induction motor

近年、多くの国でモータの効率規制が始まっており、その規制に対応すべく当社でもIE3クラスの高効率モータを開発する必要がある。しかしながら、誘導機ではさまざまな設計パラメータが相互に影響し合うことから、最適な設計を見つけることは困難である。そこで、本報では因子の主効果を抽出することのできるタグチメソッドを採用して検討を行った。

この手法では設計パラメータである制御因子および外乱である誤差因子を設定して直交表に割付けを行う。そして、直交表による設計組み合わせの計算結果から要因効果図を作成し、高い改善効果を持つ因子とその影響度を導き出すことで設計(制御因子の水準)を決定した。最後に実機実験を行い、効率と始動電流における目標を満たした設計値が得られたことを確認した。

Many countries have begun to regulate motor efficiency in recent years, and it is necessary for us to develop IE3 high-efficiency motors to meet the requirements of the regulations. However, it is difficult to find the optimum design of an induction motor because of interaction of the design parameters of the device. We, therefore, attempted to design the induction motor by applying Taguchi method that can deduce the main effect of each factor. In this method, the design parameters (i.e. the control factors) and the disturbance values (i.e. the error factors) are determined and laid out to an orthogonal table. Developing the factorial effect chart based on the calculation results in accordance with the design parameter combinations in the orthogonal table, we have determined the design of control factors' levels by identifying the factors with high improvement effect and their effects level. Performing a real machine experiment as the final step, we have confirmed that the proposed design reaches aimed levels of the efficiency and the locked rotor current.

1 まえがき

近年では地球環境の保護、とりわけ地球温暖化の防止が大きな問題となっており、省エネルギー化に直結するモータの効率向上は重要な課題と言える。このことから、近年では多くの国でモータの効率規制が始まっており、一定水準の効率を満たさないモータに対して、輸入や発売などに制限が生じている。さらに規制効率レベルは、国際電気標準会議が制定した効率値規格IEC 60034-30に基づいたIE2クラスから、一段階効率の高いIE3クラスの規制へと引き上げられる傾向にある。日本においても、減速機直結用のモータを含む広範囲の用途にわたるモータに対して高いレベルの効率規制が検討されている。

当社でもこの動向に対応すべく、IE3クラスの高効率モータ

を開発する必要があるが、モータの高効率化に伴うモータ体格の大型化を抑えるとともに、ほかのモータ特性の適正化が必要で、特に始動電流を極力小さくした設計が望まれる。過去に試作機を製作して検討を行っているが、誘導機ではさまざまな設計パラメータが相互に影響し合うことから最適な設計を見つけることは難しく、十分な特性は得られていない。

そこで本報では、特性に相互関与する多くのパラメータの最適化を図るべく品質工学の一つであるタグチメソッドを採用し、始動電流を抑えつつIE3クラスの効率を達成する設計について検討を行う。

2 誘導電動機的设计

2.1 検討対象のモータ

今回検討を行うモータの仕様を表1に示す。モータは

表1 モータ仕様
Specifications of the motor

項目	単位	仕様値
定格出力	kW	11
相数	—	3
極数	—	4
定格電圧	V	400, 440
定格周波数	Hz	60
ステータスロット数	—	48
ロータスロット数	—	40

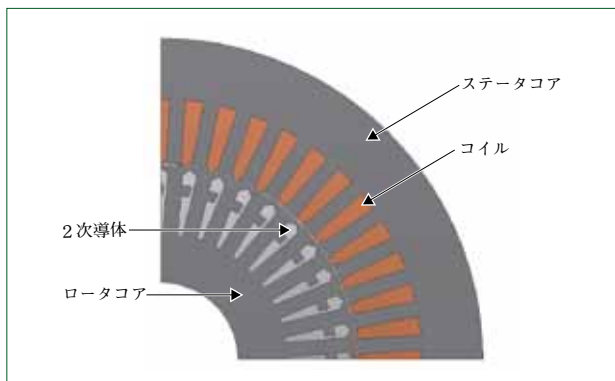


図1 誘導機の内部構造
Internal structure of induction motor

11kW 4極のかご型三相誘導電動機とし、定格電圧は400Vと440V、定格周波数は60Hzである。

今回の設計における目標を次に示す。

- (1) IE 3クラスの効率値91.4%を400V/60Hzおよび440V/60Hzの両方で達成する。
- (2) JIS C 4202規格の始動特性を満たす173A以下(440V/60Hz時)の始動電流に抑える。
- (3) 当社標準モータと同程度の体格を維持して特性を改善する。

2.2 特性に影響を与えるパラメータ

誘導機の基本内部構造を図1に示す。誘導機はステータとロータに構造を二分することができる。ステータは電流の通り道であるコイルとステータコアから構成されており、ロータは2次導体であるアルミバーとロータコアから構成されている。誘導機ではステータコアに巻かれた巻線(コイル)に交流電圧を印加することによって回転磁界が発生し、ロータのアルミバーに起電力が誘導される。そして、ロータのアルミバーに流れる電流と回転磁界との間にトルクを発生して回転する⁽¹⁾。

この電気エネルギーを回転エネルギーに変換する過程において損失が発生し、損失の種類として次の5つがあげられる。

(1) 1次銅損

ステータのコイルに電流が流れることによって生じる損失。コイル抵抗と1次電流の2乗に比例する。

(2) 2次銅損

ロータの導体に電流が流れることによって生じる損失。2次導体とすべり(同期回転数からの遅れ)に比例する。

(3) 鉄損

コア内の磁束が変化するときが発生する損失。材料、磁束密度などに比例する。

(4) 機械損

モータが回転するときが発生する摩擦、および風損による損失の総称。

(5) 漂遊負荷損

(1)~(4)以外の損失の総称。回転に寄与しない高調波電束や漏れ電流によって生じる損失。

これらの損失の総和である全損失 W_{TOT} から、次の式によってモータの効率値 $Eff.$ は算出される。

$$Eff. = 100 \times \frac{P_{OUT}}{(P_{OUT} + W_{TOT})} \% \quad (P_{OUT}: \text{モータ出力})$$

モータの設計を行う際、ステータコアおよびロータコア形状は特性に大きな影響を与える重要な要素である。たとえば、コイルを収納しているステータスロットの面積を大きくすると、コイルの断面積が拡大し1次銅損は減少するが、磁路面積が縮小して鉄損が大きくなる。また、ロータスロット面積を大きくすることにより2次銅損を削減できるが、磁路面積の縮小による高磁束密度化が起こり、励磁電流と1次銅損が増加する。またこのときに、ロータスロットの形状は始動特性(電流およびトルク)に大きな影響を与えることも考慮に入れる必要がある。このほかにもギャップ(ロータとステータ間の空隙)は励磁電流や漂遊負荷損に影響するなど、多数の因子が複合的に影響し合っている。

このように誘導機の設計では、多数の因子と、その組み合わせを考慮する必要があることから、従来の設計プロセスで最適な設計組み合わせを見つけることが困難であった。

そこで本報では、因子の主効果を抽出することのできるタグチメソッドを用いて設計を行うこととした。タグチメソッドによる代表的な手法では、設計者が設定することができ、製造上でもコントロールが可能な制御因子と、製造上や使用条件によってコントロールできない、外乱による誤差因子を設定して分析を行う⁽²⁾。

2.3 制御因子の選定

モータの構造と形状を決定する設計パラメータを制御因子として設定する。表2に、本報で設定した制御因子とその水準を示す。ここで各制御因子は、従来設計の水準を含んだ3水準を設定した。ステータコアに関するものが6つ、ロータコアに関するものが8つ、コア全体に関するものが1つ、1次巻線に関するものが2つ、2次導体に関するものが3つ、合計20種類の因子を取り上げた。

2.4 誤差因子の選定

モータの特性に影響を与える外乱を誤差因子として設定する。表2下部に誤差因子とその水準を示す。本報では、使用条件により変動する因子である電圧、生産工程上で変動する可能性のあるステータ内径およびエアギャップの3つを誤差因子として採用した。

3 タグチメソッドを用いた計算方法

3.1 直交表

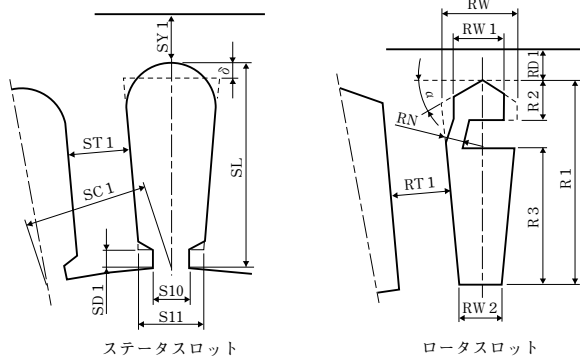
一般に多数の制御因子を組み合わせる実験を行う場合は膨大な組み合わせ実験が必要になることから、タグチメソッドでは直交表に従って実験を行う。この直交表を用いることで、少ない実験回数により制御因子の主効果を算出することができる。本報では、最大26個の制御因子から54の実験組み合わせ

表2 制御因子と誤差因子
Control and error factors

制御因子					
記号	因子名	単位	水準1	水準2	水準3
A	GAP	%	0.11	0.13	0.15
B	ロータスロット寸法 RD 1	%	0.04	0.09	0.13
C	巻線占有率	—	0.78	0.80	0.82
D	巻線長係数	—	0.97	0.98	1
E	ステータコア内径	%	60	61	62
F	ステータスロット寸法 S11/SC1	—	0.56	0.53	0.5
G	ステータスロット寸法 S10	%	1.17	1.39	1.61
H	ステータスロット寸法 ST1/SY1	—	0.88	0.83	0.79
I	ステータスロット寸法 SD1	%	0.15	0.22	0.28
J	ステータスロット寸法 δ	%	0.11	0.22	0.36
K	ロータスロット寸法 R1	%	10	11	12
L	ロータスロット寸法 R2/R1	—	0.10	0.16	0.20
M	ロータスロット寸法 R3/R1	—	0.61	0.65	0.70
AA	ロータスロット寸法 RN	%	0.5	0.7	1.0
AB	tan α	—	0.58	0.84	1.19
AC	ロータスロット寸法 ST1/RT1	—	0.95	1	1.05
AD	ロータスロット寸法 RW/RW0	—	0.70	0.85	0.93
AE	ロータエンドリング高さ	%	4	7	9
AF	ロータエンドリング幅	%	10	11	13
AG	(ロータ径-ロータエンドリング外径)/2	%	0.7	1.2	1.5

誤差因子					
記号	因子名	単位	水準1	水準2	水準3
P	電圧	V	400	420	440
Q	ステータ内径ばらつき	%	-0.02	0.02	
R	ギャップばらつき	%	0.00	0.01	

※ %はステータコア外径寸法に対する割合を表す。



を作成するL54直交表を使用する。表3にL54直交表を示しており、今回設定した20種類の制御因子を各列に割付けている。なお、直交表で割付けを行っていない部分に対しては空欄を示すe(empty)で示している。

実験では、直交表に従って設計モデルを作成した後、シミュレーションにて特性の計算を行う。シミュレーションは等価回路によって行った。

表3の右欄が全損(平方根)の計算結果を示しており、計54通りの設計組合せにおいて、12通りの誤差因子が印加されたときの結果である。

3.2 感度とSN比の算出

タグチメソッドによるパラメータ設計では、製品が持つ機能(入力と出力の関係)とその理想状態を定義し、その機能を理想状態へ近づけるようなパラメータを選定する。このときに、感度SとSN比ηという指標を利用して評価が行われる。

感度は入力に対する出力の応答性を表す指標であり、縦軸を出力とし、横軸を入力とした時の直線の傾きに相当する。本報では入力を制御因子、出力をモータ特性値(全損失と始動電流など)としており、この値は小さいほど望ましいことから、感度は望小特性である。

一方、SN比は誤差因子による外乱が加わったときに受ける出力のばらつきであり、誤差因子に対するロバスト性を表している。SN比が大きいほど、誤差因子に対して安定していることになるので、SN比は望大特性である。

感度とSN比は、次の式により直交表から得られる54通りの設計組合せごとに計算される。

- (1) 全変動 S_T を算出する。

$$S_T = y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_{12}^2$$

ここで、 $y_k (k=1, 2, \dots, 12)$ は各特性の計算結果であり、 k は誤差因子の番号を表している。

- (2) データ平均の変動 S_m を算出する。

$$S_m = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_{12})^2}{12}$$

- (3) 誤差分散 V_e を算出する。

$$V_e = \frac{S_T - S_m}{12 - 1}$$

- (4) 感度 S を算出する。

$$S = 10 \log \left[\frac{1}{12} S_m \right] \text{dB}$$

- (5) SN比ηを算出する。

$$\eta = 10 \log \left[\frac{\frac{1}{12} S_m}{V_e} \right] \text{dB}$$

3.3 要因効果図

制御因子と感度およびSN比の関係性について分析するに当たり要因効果図を作成する。要因効果図とは各制御因子に対して水準ごとの平均値(感度およびSN比)をグラフ化したものであり、各制御因子が持つ主効果を把握することができる。

図2は全損失の要因効果図であり、上から全損失の感度 S 、SN比ηを示している。図3は始動電流の要因効果図であり、感度 S を示している。なお、始動電流は誤差因子である電圧によりばらつくことは妥当であることから、本報では始動電流のSN比について検討を行わない。

次に、要因効果図から高い改善効果を持つ因子を選定する。要因効果図において水準間の変動幅が大きいものが高い影響度を持っており、特性改善に寄与できる因子である。この影響度の高い因子において、感度に対しては低い水準を、SN比に対しては高い水準を選定した結果を表4の改善水準に示す。

選定した因子ではコア形状に関するものが大半を占めており、中でもロータスロット形状に関する多くの因子が高い影響度を持つ傾向にある。さらにロータスロットに関する因子は、始動電流と全損失において要因効果図の傾きが逆方向となっており、トレードオフの関係になっている因子が多いという傾向にある。

要因効果図から得られた結果をもとにして、3つの設計条

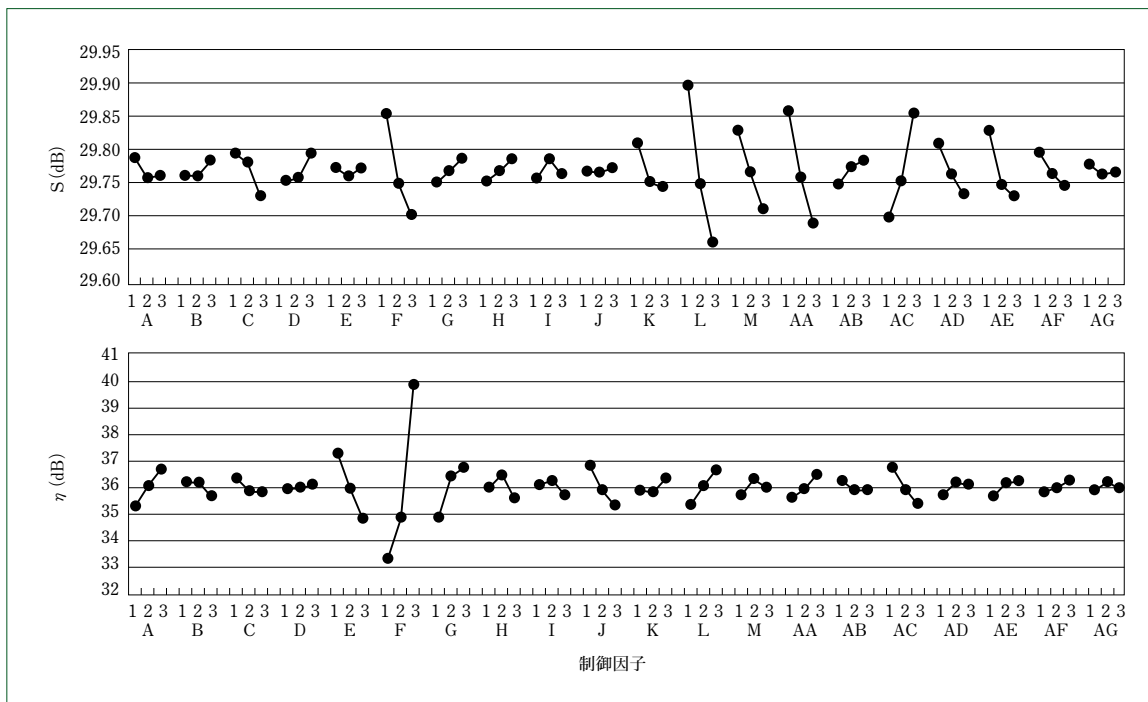


図2 全損失の要因効果図
Factorial effect charts of total loss

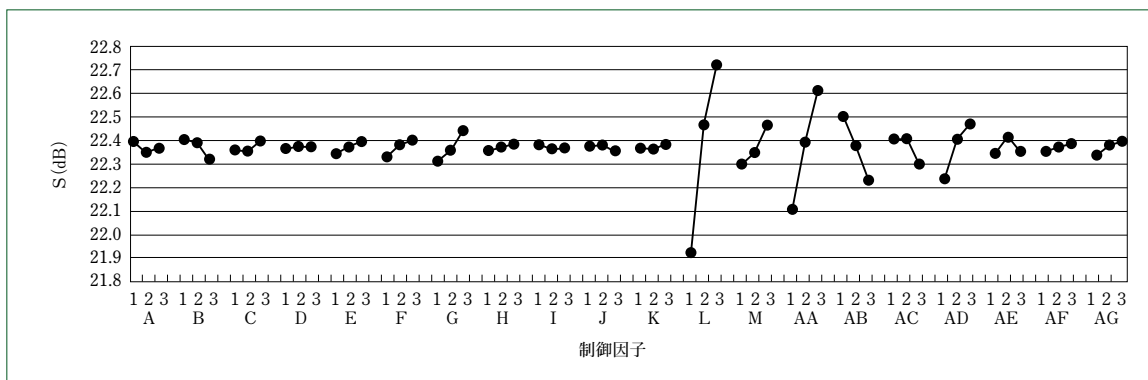


図3 始動電流の要因効果図
Factorial effect charts of locked rotor current

表4 要因効果からの選定水準
Selected levels from the factorial effects

記号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	
因子名	GAP	ロータスロット寸法 R D 1	巻線占有率	巻線長係数	ステータコア内径	ステータスロット寸法 S 11 / S C 1	ステータスロット寸法 S 10	ステータスロット寸法 S T 1 / S Y 1	ステータスロット寸法 S D 1	ステータスロット寸法 δ	ロータスロット寸法 R 1	ロータスロット寸法 R 2 / R 1	ロータスロット寸法 R 3 / R 1	ロータスロット寸法 R N	tan α	ロータスロット寸法 S T 1 / R T 1	ロータスロット寸法 R W / R W 0	ロータエンドリング高さ	ロータエンドリング幅	(ロータ径/ロータエンドリング外径)/2	
単位	%	%	-	-	%	-	%	-	%	%	%	-	-	%	-	-	-	%	%	%	
水準	No. 1	0.11	0.04	0.78	0.97	60	0.56	1.17	0.88	0.15	0.11	10	0.10	0.61	0.5	0.58	0.95	0.70	4	10	0.7
	No. 2	0.13	0.09	0.80	0.98	61	0.53	1.39	0.83	0.22	0.22	11	0.16	0.65	0.7	0.84	1	0.85	7	11	1.2
	No. 3	0.15	0.13	0.82	1	62	0.5	1.61	0.79	0.28	0.36	12	0.20	0.70	1.0	1.19	1.05	0.93	9	13	1.5
改善水準 (No.)	全損失	S		3		3					3	3	3	3		1	3	3	3		
	η	3				3	3														
採用条件 (No.)	始動電流	S				1						1	1	1	3		1				
	#1	3	2	3	1	3	3	2	1	3	3	3	3	3	2	1	3	3	3	2	
	#2	3	2	2	3	2	3	1	1	3	3	3	3	3	1	3	1	3	3	2	
#3	3	2	2	3	2	2	1	1	3	3	1	1	1	1	3	2	1	1	2	2	

※ %はステータコア外径寸法に対する割合を表す

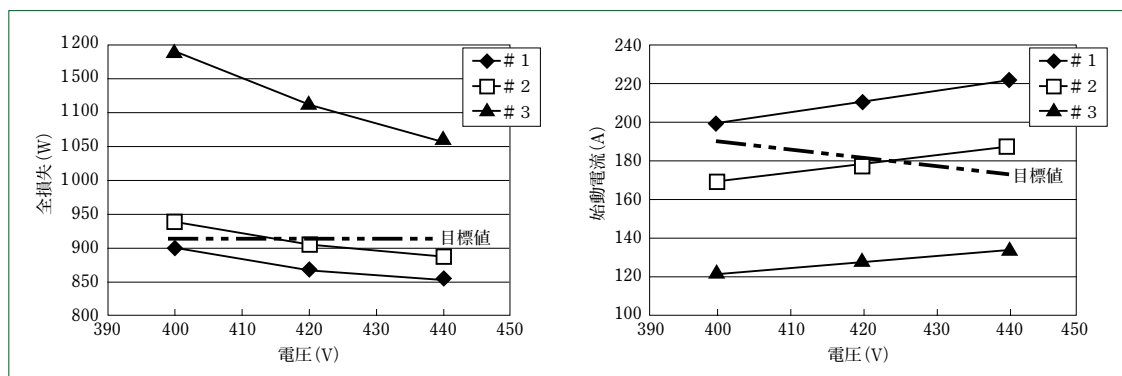


図4 条件選定後の計算値
Calculation results of selected level

表5 設計最終仕様
Adopted design from the proposed method

制御因子

記号	水準名	単位	最終条件
A	GAP	%	0.15
B	ロータスロット寸法 RD1	%	0.09
C	巻線占有率	—	0.80
D	巻線長係数	—	1
E	ステータコア内径	%	61
F	ステータスロット寸法 S11/SC1	—	0.52
G	ステータスロット寸法 S10	%	1.17
H	ステータスロット寸法 ST1/SY1	—	1.16
I	ステータスロット寸法 SD1	%	0.28
J	ステータスロット寸法 δ	%	0.4
K	ロータスロット寸法 R1	%	12
L	ロータスロット寸法 R2/R1	—	0.18
M	ロータスロット寸法 R3/R1	—	0.71
AA	ロータスロット寸法 RN	%	0.8
AB	$\tan \alpha$	—	1.19
AC	ロータスロット寸法 ST1/RT1	—	0.84
AD	ロータスロット寸法 RW/RW0	—	0.49
AE	ロータエンドリング高さ	%	9
AF	ロータエンドリング幅	%	11
AG	(ロータ径-ロータエンドリング外径)/2	%	0.9

計算結果	単位	400V/60Hz	440V/60Hz
全損失	W	902	858
効率	%	92.4	92.8
始動電流	A	157	172

分離法に準拠)および始動電流の計測を行った。

表6に、実機による実験結果を示す。表は400V/60Hzおよび440V/60Hzにおける従来設計と提案設計の各測定結果である。結果より、提案設計はIE3クラスの効率値である91.4%に対し、400V/60Hzおよび440V/60Hzでクリアしており、効率が改善したことを確認できる。

損失の内訳としては、従来設計より2次銅損が60~70Wと大幅に減少していた。これは、要因効果図で効果が高いと判定されたロータスロットの大きさと形状を変更したことに起因したものである。また、始動電流も目標値である173A以下となり、目標を達成した。

これらのことから、今回のタグチメソッドを用いた設計手法により目標を達成する設計を導出することができ、本手法の有用性を確認することができた。

表6 実機の試験結果
Experimental results of the trial motor

周波数	Hz	60			
		400		440	
電圧	V	従来設計	提案設計	従来設計	提案設計
電流	A	20.8	20.5	20.2	20.2
始動電流	A	154	136	171	152
1次銅損	W	287	292	269	279
2次銅損	W	281	211	227	169
遊遊負荷損	W	117	113	98	90
鉄損	W	218	200	269	258
機械損	W	79	77	79	77
全損失	W	983	892	942	872
効率	%	91.79	92.50	92.11	92.66

5 むすび

本報では、タグチメソッドによるパラメータ設計手法を用いて、高効率誘導モータの設計を行った。

- (1) 始動電流を抑えながらIE3クラスを満足させるモータを設計することができた。
- (2) 本手法により得られた設計では、従来設計品に対して2次導体の形状を変更したことによる特性改善への効果が見られた。
- (3) 複雑に影響し合う誘導機の設計パラメータについて、各パラメータが持つ、効率および始動電流への主効果を把握することができた。
- (4) この設計方法を用いることで設計方針を効率的に決定でき、設計にかかる期間を半減することができる。
- (5) 今後の課題として、シミュレーションの計算精度の向上があげられる。

今後は、この手法の精度向上を図り他機種にも展開することで、省エネルギー性能とモータ性能の双方を向上させたモータを商品化していく所存である。

(参考文献)

- (1) 坪島茂彦, 誘導電動機, 東京電機大学出版局, 2006.
- (2) 井上清和, 中野恵司, 林裕人, 芝野広志, 大場章司, 入門 パラメータ設計, 日科技連, 2008.

風力発電機用 YAW 駆動用減速機

YAW Drive for Wind Turbine

● 峯 岸 清 次*
Kiyoji MINEGISHI



風力発電機用 YAW 駆動用減速機
YAW Drive for Wind Turbine

1 はじめに

近年、地球環境やエネルギー供給などへの取組みとして、世界中で新エネルギーの導入が進められている。中でも東日本大震災に伴う原子力発電の見直しにより、風力発電が新エネルギーの中でも経済性、効率性および環境性に優れていることから、一層注目を集めている。

風力は、世界で最も利用されている再生可能エネルギーであり、世界の風力発電容量は2008年の経済危機の影響を受けながらも長い目で見れば勢いを失っておらず、今後とも増加すると思われる。

世界的には洋上発電の普及および大型化が進行中であり、国内では立地難により必ずしも風況が良くない地域への設置機会が多いこともあって、信頼性が高くメンテナンス性に優れたナセル旋回(YAW駆動)用減速機が求められている。

当社では、国内外の必ずしも風況が良いとは言えない設置環境に適合し、洋上発電での使用にも適したYAW駆動用減速機を開発した。ここでは当社汎用ギヤモータの長所(品質、コストおよび納期に優れ、全世界に展開済みのサービス体制やモータ規格対応力を有する)を活用しながら、風力発電機用に特化して開発した軽量コンパクトなYAW駆動用減速機の開発経緯とその特長について述べる。

2 YAW 駆動用減速機の開発経緯

2.1 開発の背景

風力発電機の動力伝達系に作用する負荷の特徴として風況に大きく影響を受けることがあげられる。今回の開発対象であるYAW駆動減速機の場合、日本国内に設置されている風力発電機とそのYAW減速機の多くが欧州製であり、主には

平坦な地形と安定した偏西風環境の中で進化(大容量化・コンパクト化)してきている。

これに対し、日本の風況は台風、季節風および山岳地帯などの環境において使用されるので変動過大負荷があり、欧州製発電機そのままでは必ずしも適合していないことが分かってきている。メンテナンス面においても海外メーカーの存在が大きく、結果としてメーカー技術者の保守点検や保守部品の調達に時間がかかる傾向があった。

2012年に自然エネルギーによる電力の全量買取り制度が発足し、風力発電の既設機にも適用される方向になった。このことから、設置した風力発電機は稼働率を高くして収益を上げ続ける必要があり、故障しにくく維持管理コストの低い減速機が求められていた。

2.2 産業用歯車減速機の風力発電への適用

当社のサイクロ減速機は、昭和7年(1932年)の基本特許成立後80年、また昭和12年(1937年)に当時の住友本社がドイツから技術導入し、当社の前身である住友機械が製造を開始してから75年にわたり、軽量、コンパクトで衝撃負荷に強く頑丈であるという特長および信頼性が市場から評価され、産業界の第一線で活躍している。

風力発電機のYAW・PITCH駆動用としてサイクロ減速機が適用されたのは、主に欧州において顧客が一般産業用標準品カタログから独自に選定・採用したのが始まりであるが、いつから風力発電機で使われたかは明確でない。ただし、風力発電機で使用される場合には、寒冷地および回転するハブの中での使用において潤滑などの工夫が必要となってくるので、顧客からの仕様要求に対応する中で、風力発電の需要がどの程度だったかは把握している。1990年代には多くの台数が使用されて、今も問題なく稼働しているという実績がある。

表 1 YAW駆動用減速機仕様
Specifications of YAW drive

モータと出力軸の方向	1 段目ギヤモータ	2 段目減速機	減速比	潤滑	適用風力発電機
直交形	ハイポニックギヤモータ	サイクロ減速機	473~3741	グリス潤滑	0.4~3MW
同軸形	サイクロギヤモータ	同上	430~5160	グリス潤滑	0.4~3MW

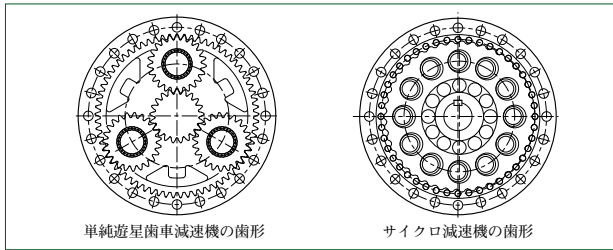


図 1 歯形比較
Comparison of shape of teeth

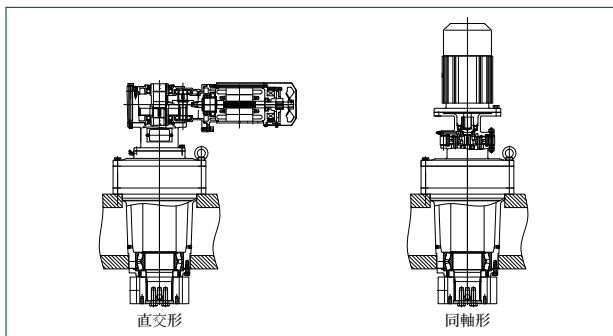


図 2 外形図
Outline drawing

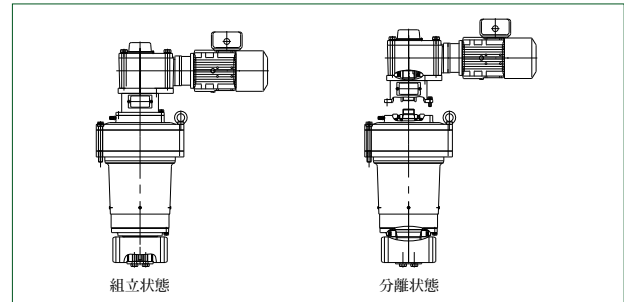


図 3 減速機の組立・分離状態
Assembly and separation

図れる。従来の直交減速機ではギヤモータ部分にウォーム減速機が使われることが多かったが、当社はウォーム減速機よりも高効率で、セルフロックしないハイポイドギヤを用いた直交ギヤモータ(商品名 ハイポニック)をシリーズ化しているので、それとの組合せを行った。

(4) グリス潤滑により維持管理費用と環境汚染リスクの最小化を可能とした。汎用ギヤモータは、食品機械用などにおいては非常に高いレベルの汚染に対する安全性が必要であり、ここでは製パン業界用などで鍛えられた環境性能を活用している。

(5) 1 段目(高速入力低トルク側)と 2 段目(低速大トルク側)が簡単に分離・結合できるので、ナセル内への搬入、ナセル内での移動および風力発電機への据付けを扱いやすい寸法かつ自在の角度で行なうことができる。

分解・組立てが容易であり、ナセルに設置されているクレーンの吊り上げ能力の範囲内でのメンテナンスが行いやすい。図 3 に、組立て状態と分離状態の YAW 減速機の例を示す。

(6) オプション機能として過大な負荷に対して動力伝達を遮断する過負荷防止機構を備えている。

2.3 日本の風況に適合した YAW 減速機

2.2 の実績や、特に風況の厳しい風力発電機にテスト機を設置して行なった実負荷測定で認められた YAW 減速機の特長を以下に示す。

- (1) 衝撃的な過大負荷に対し強い構造である。
- (2) 現在使われている YAW 減速機と同じ取合い寸法で、過大負荷に耐えられる構造である。
- (3) 減速機の定格を超える過大負荷に対しては、減速機および YAW システム全体を守る保護装置を有している。
- (4) ソフト面では、迅速かつ高品質なメンテナンスを提供できるサービス体制を有している。

3 YAW 駆動用に特化したサイクロ減速機の仕様および特長

2 章の需要に対応すべく、汎用ギヤモータとして豊富な実績を持つサイクロ減速機をベースに YAW 駆動用減速機を商品化した。表 1 に、主要仕様を示す。

特長を次に示す。

- (1) 動力伝達における同時噛合い数が多いので、耐衝撃性に優れ、過負荷に強く荷重が不明確な風荷重に有効である。図 1 に、1.5~3.0MW 級風力発電機用 YAW 減速機に使用される単純遊星歯車減速機と、サイクロ減速機の歯形図を同一縮尺で示す。
- (2) シンプルな 2 段型構造で、同軸形と直交形の両方に対応できる。外径および長手寸法にコンパクトなので狭いナセル内で場所を取らない。図 2 に、同軸形と直交形の外形図を示す。
- (3) 高効率な直交減速機との組合せにより省エネルギーが

4 おわりに

(1) 近年、風力発電への需要が高まっているが、国内に関しては必ずしも風況の良い地域への設置機会が多く、信頼性とメンテナンス性に優れた減速機が求められている。

(2) 当社では、75 年にわたり産業界の第一線で活躍しているサイクロ減速機を風力発電機へと適用することにより、変動過大負荷のある風況においても強い構造を実現した。

(3) YAW 駆動用に特化したサイクロ減速機は、軽量、コンパクトかつ高信頼性とメンテナンスの容易さなどを特長とする。

サイクロ減速機の技術的な筋の良さと、迅速かつ高品質なメンテナンスを提供できるサービス体制を発展させ、今後も風力発電市場の動向や顧客の要求に応えていきたい。

パラマックス® SCCシリーズ クレーン用減速機

PARAMAX® SCC Series Crane Drives



クレーン用減速機SCCシリーズは、天井クレーンで使用される、ウィンチドラムの巻上げ用減速機をターゲットとして商品化したシリーズである。

天井クレーンは、モータを動力源とし、減速機で減速した後、ウィンチドラムによるワイヤの巻上げで物を吊る構成になっている。

天井クレーンの巻上げ駆動部を構成するモータ、減速機およびウィンチドラムは同じトロリ(台車)上に設置される。この際、スペース上の制約から、ウィンチドラムとモータを平行に並べて配置し、減速機がその間をつなぐように、コの字型に配置する設計が一般的である。

天井クレーン用減速機は、ウィンチドラムとモータの平行配置を満足させるべく、モータからの入力軸とドラムへの出力軸の間に、大きな心間寸法を要求される。

従来の選定では、要求心間寸法を満足させるべく、強度上必要な枠番以上の歯車やケーシングを使用することによる、オーバースペックな減速機が選定されることが多くなっていった。そのような選定が、減速機本体重量および必要な潤滑油量を増加させ、重量や費用などの面で天井クレーンの設計を圧迫していた。

SCCシリーズでは、この点を改善すべく、減速に必要な歯車とは別に、アイドラギヤと呼ばれる、減速には直接関係のない歯車を入力段のピニオンおよびギヤの間に配置することで、心間寸法を大きくしている。さらに、そのアイドラギヤのサイズを複数持つことにより、心間寸法を選択する方式を

採用している。これにより、減速機を最適な心間寸法および強度のバランスで選定することが可能となる。

主要仕様

SCCシリーズ減速機形式例	SCC035P 4 FS-RR-50
枠番	035~095 (出力トルク範囲 8.5~101 kNm)
歯車段数	4
心間選定	S(標準心間), M(中間心間), L(最長心間)
心間範囲	515~1330 mm
減速比	20~90比

特長

- (1) 心間選定方式により最適心間の選定が可能である。
- (2) SCC専用鋳物ハウジングの採用により、外部荷重に対する高い耐久性と軽量化を実現している。
- (3) パラマックス®減速機シリーズとの主要部品共有により、メンテナンス部品の供給納期を短縮している。

(PTC 事業部 林 良樹)

FPSO用歯車装置

Gear Box for FPSO



FPSO (Floating Production, Storage and Offloading system 浮体式石油・ガス生産貯蔵積出設備) は、洋上で石油・ガスを生産・貯蔵・積出する浮体設備で、多くは改造したタンカーなど船舶状の形状をしている石油プラットホームの一種である。比較的設置が容易なことや、移動・再利用が可能なことなどのメリットにより、従来の固定式プラットホームに代わる新しい生産方式として主流になっている。この洋上で石油・ガス生産ラインに使用される圧縮機に、高速歯車装置が使用されている。

高速歯車装置は、高回転(高周速)での使用に対し、安定した運転および動力伝達ができることが求められる。さらに、高効率および低振動な高精度歯車装置であるとともに、洋上における船の揺れに対しても安定した運転が要求される。

当社の高速歯車装置は、主に発電機とコンプレッサ(石油・ガス・化学)の駆動に使用され、50年以上の経験と、国内外に7000台以上の納入実績を有しており、高い信頼性でお客様の高い評価を得ている。

また、船用主機減速機の設計製作で得られたノウハウも生かし、これまで培ってきた技術力を結集し、単純な2軸の1段増速機だけでなく、2軸出力など多様なニーズに対応した高速歯車装置を、FPSOの圧縮機駆動用に、新たに製品化し販売する。

軸形式	平行軸型
伝達動力	約15000kW
入力回転数	約1500~3600r/min
出力回転数	約12000r/min
ケース	鋳鉄, 鋳鋼, 鋼板溶接構造
歯車	はずば, やまば(JIS 0 級)
軸受	すべり軸受, ティルティングパッド軸受
カップリング	ダイヤフラムカップリング, ギヤカップリング

特 長

- (1) 各国規格に対応
API, AGMA, ISO, 船級など
- (2) 高効率
効率98.5~99%(1段2軸の場合)
- (3) 低振動
当社独自の振動解析(FEMすべり軸受性能解析, 危険速度解析, アンバランス応答解析)
- (4) 2軸出力など, マルチピニオンタイプにも対応
- (5) 各種監視システムの取付けに対応
軸振動・軸移動計, 加速度計, 軸受温度センサ
- (6) 高信頼性
納入実績 約7000台(1958年~2011年)

主要仕様

用途 各種圧縮機駆動用

(株式会社 セイサ 社 淳)

低温仕様 ハイポニック減速機・プレストNEOギヤモータ

Low Temperature Specification-Hyponic Gearmotor & Prest Neo Gearmotor



ハイポニック減速機
Hyponic gearmotor



プレストNEOギヤモータ
Prest neo gearmotor

ハイポニック減速機・プレストNEOギヤモータの低温仕様は、冷凍倉庫などで使用される減速機を主なターゲットとして商品化したオプション仕様であり、出荷実績も増加傾向にある。

冷凍倉庫とは、食品を中心にその他の貨物も含めて -10°C 以下で保管できる倉庫のことを言い、保管温度帯によって区分が次のように決められている。

区分	保管温度	対応仕様
C3級	$+10^{\circ}\text{C}$ 以下 -2°C 未満	標準
C2級	-2°C 以下 -10°C 未満	
C1級	-10°C 以下 -20°C 未満	低温仕様
F1級	-20°C 以下 -30°C 未満	
F2級	-30°C 以下 -40°C 未満	
F3級	-40°C 以下 -50°C 未満	
F4級	-50°C 以下	

低温仕様は、 $-30\sim-10^{\circ}\text{C}$ の環境下で使用するギヤモータをターゲットとしているが、試運転および動作確認は常温環境下で行うことがある。その際、従来の低温仕様は、運転条件を

- ・ 負荷率 50%
- ・ 運転時間 500時間

としていた。しかし、負荷率100%で試運転および動作確認ができるようにしてほしいとの要望を受け、今回、グリスを新規開発し、性能(騒音・効率)は従来と変わらず、常温環境

下での試運転および動作確認時の使用条件

- ・ 負荷率 100%
- ・ 運転時間 500時間(ハイポニック減速機)
200時間(プレストNEOギヤモータ)

を可能とした。

主要仕様

		新低温仕様		旧低温仕様
機種	ハイポニック減速機	プレストNEOギヤモータ		←
	モータ容量	0.1~5.5kW	0.1~2.2kW	←
常時 使用環境 (低温)	周囲温度	$-30\sim-10^{\circ}\text{C}$		←
	周囲湿度	85%以下 ただし、結露しないこと		←
	負荷率	100%		←
	使用時間	制限なし		←
	時間定格	連続(S1)		←
試運転・ 動作確認 使用環境 (常温)	周囲温度	$-10\sim+40^{\circ}\text{C}$		←
	周囲湿度	85%以下 ただし、結露しないこと		←
	負荷率	100%	50%	←
	使用時間	500h	200h	←
時間定格	連続(S1)		←	

(住友重機械ギヤモータ株式会社 松田達也)

フォークリフト用誘導電動機

Induction Motor for Forklift Trucks



近年では環境問題への取組みから、バッテリー式フォークリフトの出荷台数はエンジン式を上回っており、今後も需要が増えると見込まれている。

バッテリー式フォークリフトで用いる走行用モータは、主要なコンポーネントの一つであり、モータの安定供給は重要な課題である。

このような状況のなか、住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社の協力を得て走行用モータを開発した。低コストかつ堅牢であるという誘導電動機のメリットを生かし、さらに次に示す構造を採用することで小型化を実現し、顧客要求に応えるモータを実現した。本報ではその開発品を紹介する。

主要仕様

	1 ton用		2 ton用	
出力(kW)	7.4	4.0	10.7	5.7
バッテリー電圧(V) (DC)	72	48	72	48
モータ定格電圧(V) (AC)	44	30	44	30
回転数(r/min)	3500	2842	3680	2985

特 長

- (1) フォークリフトのバッテリー電圧は48Vや72Vであり、48Vバッテリーの場合、モータ定格電圧は26~30Vといった低電圧で設計する必要がある。特性に適したコイルの

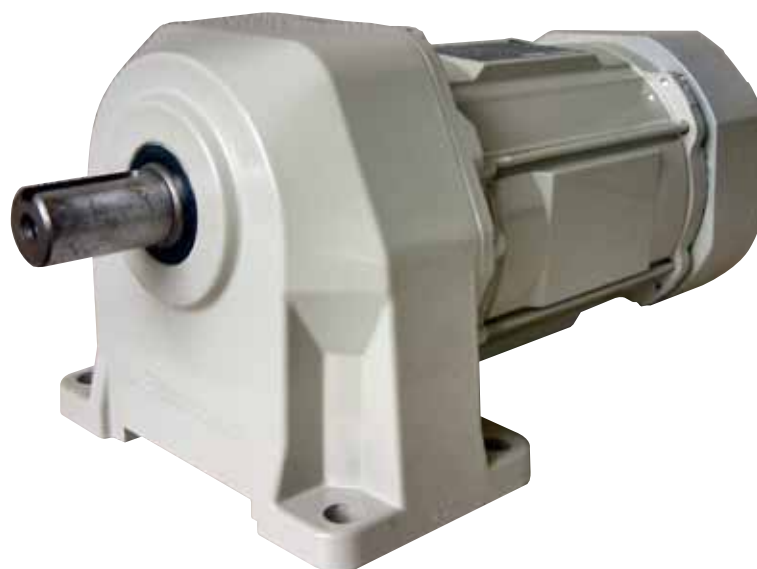
- 巻き数を選択することにより要求特性を達成させている。
- (2) フォークリフトは寸法制約が多いが、本モータは制限された空間に収めるべく冷却用のファンを取り除き、モータの全長を短縮した。加えて部品点数削減によりコストダウンを図っている。
- (3) 冷却ファンを取り除くことによる温度上昇の問題に対しては、フレーム構造を開放型とし、ロータのフィンにより内気を攪拌することで冷却効果を上げている。加えて、同フレーム内に導風板を取り付けることにより、モータ内部から効率的に冷却できる構造とした。
- (4) 速度センサにホールICを採用することで、より簡易的な構造を可能とし、耐振性にも優れた構造としている。

なお、本開発品は、生産場所を顧客要望にマッチさせることで顧客のサプライチェーンにも寄与できた。

(PTC 事業部 藤野泰充)

超低騒音ブレーキ付き短時間定格ギヤモータ

Short Time Rating Gearmotor with Ultra Low Noise Brake



ギヤモータが使用される環境下では、主に位置決め時の保持や、停電時での事故を未然に防ぐことを目的としてブレーキが使用される。具体的には、昇降機・ウィンチなどの上下駆動において要求されることが多い。さらに、横行駆動用途においても装置の緊急停止に合わせて使用するなど、その使用範囲は多岐にわたる。

また、時代の変化に伴い、ギヤモータが、より人に身近な場所で使用されることが多くなり、ブレーキの動作時に発生する衝撃音や、モータ駆動中のブレーキ擦り音が問題となる場合が増えている。

本超低騒音ブレーキ付きギヤモータはそうした背景に対応すべく、高く安定したブレーキトルクを維持しつつ、従来の低騒音仕様ブレーキよりも動作時の衝撃音を抑えた超低騒音のブレーキ付きギヤモータとなっている。

現在、対応可能なモータ容量は限定されているが、今後はより多くのモータ容量への適用拡大を計画している。

主要仕様

適用モータ	0.2kW×4P三相モータ
減速機形式	平行軸・直交軸タイプ
ブレーキ動摩擦トルク	2.0N・m
ブレーキ定格電圧	DC90/180V
ブレーキ方式	乾式複板無励磁作動形

特長

(1) 低騒音を実現

ブレーキの構造を見直し、ブレーキ動作時の衝撃音を従来の低騒音仕様よりも低減し、さらに専用のブレーキカバーと組み合わせることで、急制動回路使用時の衝撃音を約10dB低減することができた。

また、ブレーキトルクを発生させるライニングディスクなどの形状を見直すことにより、ギヤモータ駆動時に発生するブレーキ部の擦り音も低減している。

(2) コンパクト性

短時間駆動用途に特化してファンレス構造を採用したことにより、標準のブレーキ付きギヤモータと比較して全長が短くなっている。

(3) 保護構造

保護構造はIP55に対応しており、屋外で使用することも可能である。ブレーキカバーは取外しが可能で、ブレーキの点検を行なえるようになっている。

T/PAPERS & T/INVITATIONS
論文・報告／技術解説



医療用画像合成技術の開発

Development of Technology for Medical Image Fusion

●山口 喬* 天野 大三**
Takashi YAMAGUCHI Daizou AMANO



マルチモダリティ(PET・CT装置など)画像フュージョン
Multimodality system (PET-CT etc.) and its image fusion.

当社は、医療診断分野への参入を念頭に置き、従来の空間分解能をはるかに凌駕した小動物実験用半導体PETカメラ MIP-100を開発した。近年、市場からPET画像とCT・MRIなどの形態画像との合成画像に対する要望が高まり、画像合成機能を実現して本PETカメラの商品力を強化させるソフトウェアの開発を行ってきた。

本報では、開発したPET画像と形態画像を高精度で合成する機能に関して述べる。次に開発結果として、画像重ね合わせ精度 $\pm 0.3\text{mm}$ が得られたことを計算機シミュレーションにより示し、実測データに対しても本開発ソフトが有効であることを述べる。本開発ソフトによって $\pm 0.3\text{mm}$ という高精度の画像合成が実現することで、当社の半導体PETカメラの超高分解能: 0.5mm を劣化させることなく、高分解能($< 0.6\text{mm}$)な融合画像を提供することができる。

With entry into a field of medical diagnosis in mind, we have developed PET "MIP-100" system, of which spatial resolution is far higher than the conventional one, using semiconductor detectors for preclinical imaging for small animals. In response to the recently increasing market demand to fuse functional images by PET and anatomical ones by CT or MRI, we have been developing software to implement image fusion function that enhances marketability of the PET Camera. This paper describes the method of fusing with high accuracy the PET images and anatomical ones by CT system. It also explains that a computer simulation proved the image overlay accuracy to be $\pm 0.3\text{mm}$ as a result of the development, and that effectiveness of the developed software is confirmed in case of experiment to obtain measured data. Achieving such high accuracy as $\pm 0.3\text{mm}$ by the software allows us to present fusion images with high resolution ($< 0.6\text{mm}$) without degrading the spatial resolution ($< 0.5\text{mm}$) of the PET system using semiconductor detectors.

1 まえがき

当社は、医療診断分野への参入を念頭に、従来の空間分解能をはるかに凌駕した小動物実験用半導体PETカメラ MIP-100を開発した⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。近年、小動物用PETカメラの主要な市場である分子イメージング市場では、PET画像(機能画像)と

CTまたはMRI画像(形態画像)とを合成させたフュージョン画像を撮影可能なPET-CTのようなマルチモダリティ機の研究開発が進み、顧客からはそれに呼応してマルチモダリティ機の要求が高くなってきている。ここでのフュージョン画像とは、体内の糖代謝などの機能を画像化したPET画像と、体内の器官の形状を画像化したCTまたはMRI画像とを合成し

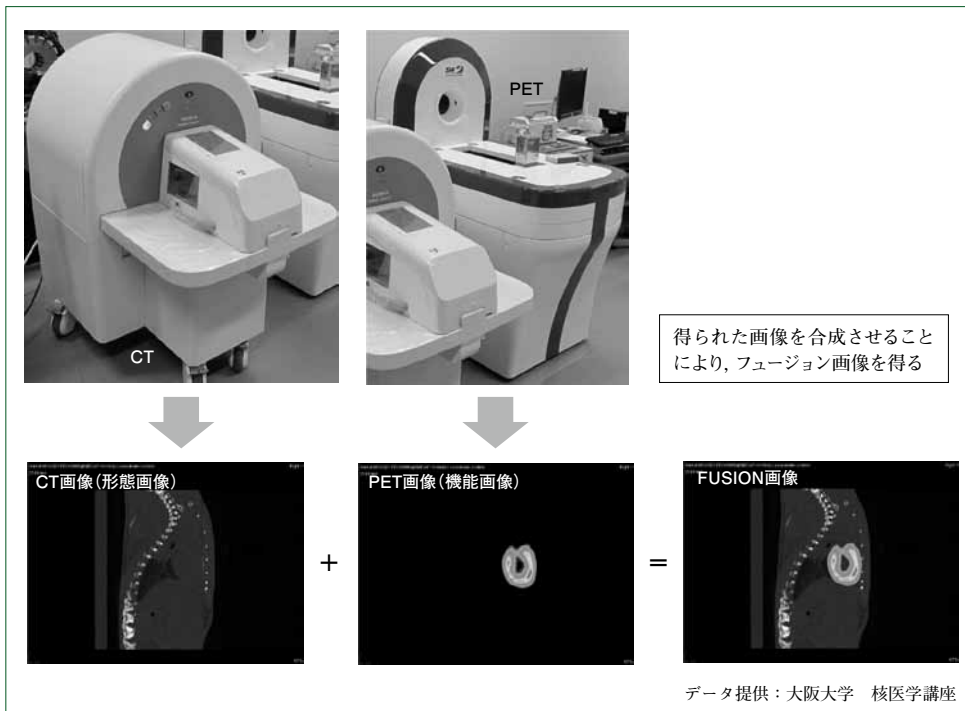


図1 単体の装置によるマルチモダリティ機
Multi-modality imaging with mono-modality

たものである。たとえば、フュージョン画像を癌検診で使用すれば、悪性の癌が体内のどこに位置しているかということが分かることから、正確な診断が可能となる。今後、フュージョン画像はPET/CTだけでなく、PET/MRIやPET/超音波など、さまざまな種類の医用画像に適用されて発展していくと考えられる。

上記のような市場要求を満たすべく、当社では、PET/CTなどのマルチモダリティを希望する顧客への装置提案を目的として、開発した半導体PETと他モダリティ（CTなど）の2台を組み合わせることでマルチモダリティを実現させることとした。これにより、同じ対象を異なるモダリティで撮影した画像が得られる。しかし、得られる画像はまったく別の装置で撮影された異なる性質の画像であり、異なる座標系を持ち、画像の変形が生じている。よって、単純に重ね合わせただけでは、機能画像と形態画像とが一致した合成画像を得ることは不可能である。

そこで、別装置により撮影された画像であっても、一致した合成画像を得ることが可能な画像合成ソフトウェア（画像フュージョンソフト）を開発した。開発したソフトは、計算機シミュレーションによる精度確認、実際のCTおよびMRIから得られた実測データにより性能評価を行った。

2 目的

当社半導体PETにマルチモダリティ機能を付加して商品価値を向上させるべく、PETと他社が販売している他モダリティ（CTなど）の別々の装置2台を組み合わせることでマルチモダリティ機として機能させる（図1）。それらの装置により撮影された機能画像と形態画像から、フュージョン画像を作成する。合成する元の画像が画素以上の分解能を持たないことから、原理的に作成されたフュージョン画像には、画素以

上の精度は得られない。よって、フュージョン精度の限界である、PET画像の画素サイズ（±0.3mm）以下の精度で一致した合成画像を得られる画像合成ソフトウェア（画像フュージョンソフト）の開発が本論文の目的である。

3 フュージョン画像作成方法

PET画像とCTまたはMRI画像は、異なるモダリティ（測定方法）で測定された画像であることから、おのおのが異なる座標系を持つので、これらの画像を重ね合わせるには、画像に対して複雑な3軸の平行移動と3軸の回転移動の操作を施す必要がある。さらに、図1から明白なように、重ね合わせの基準となる点がないことも、正確に画像を重ね合わせるのに必要な移動・回転のパラメータの決定を困難にしている。

そこで、我々はPET画像と形態画像との重なり合いの程度を示す量として相互情報量（Mutual Information MI）を採用し、この量を最大とする移動・回転パラメータを決定する方法をとった。MIとは、もともとは確率論および情報理論で用いられる量であり、2つの確率変数の相互依存の尺度を表す。2つの確率変数AとBの相互情報量およびMI(A, B)は次の式で示される。

$$MI(A, B) = \sum_{a \in A} \sum_{b \in B} p(a, b) \cdot \log \left(\frac{p(a, b)}{p(a)p(b)} \right)$$

ここで、 $p(a, b)$ はAとBの同時分布関数、 $p(a)$ と $p(b)$ はそれぞれAとBの周辺確率分布関数である。今、AをPET画像、BをCTあるいはMRI画像とすれば、MI(A, B)が最大になるときが最も画像が一致しているときとなる⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

次に、このMIを最大とする移動・回転のパラメータを探索すること（最大値問題）になるが、MI量の導関数を導出するのは困難であることから、ここでは、有効な最適値探索法

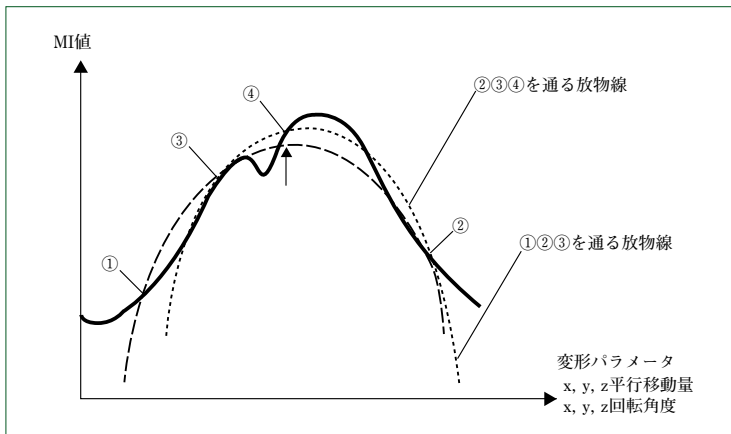


図2 Powell法による最適値探索
Optimization using Powell method

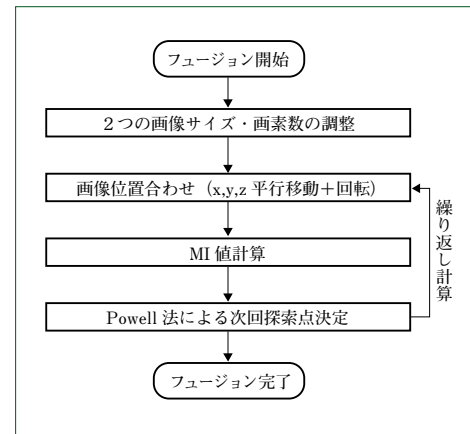


図3 フュージョン画像作成フロー
Flow to create fusion images

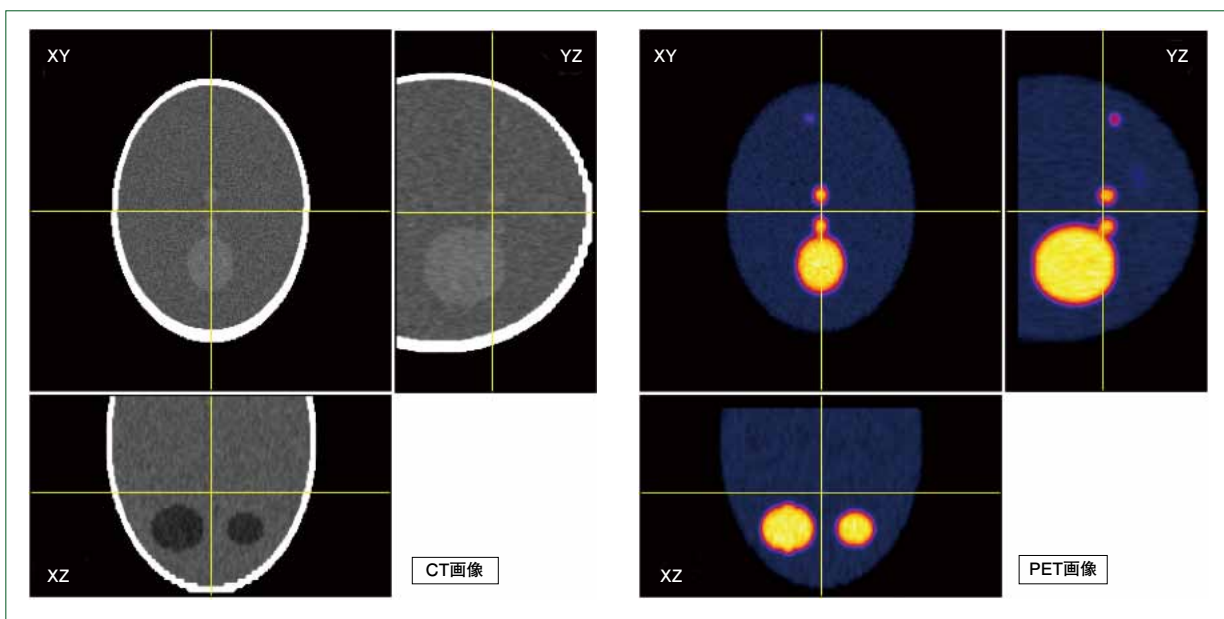


図4 Shepp-Loganファントム
Shepp-Logan phantom

Powell法⁽⁸⁾⁽⁹⁾を用いた。この方法の原理を図2に示す。まず、図2に実線で示された対象となる関数(我々の場合は相互情報量に当たる)の3点①②③を通る上に凸の放物線を決めて、その最大値を与える変数での関数値を④とする。①②③④の中から関数値の一番小さな点を捨てて、残りの3点で放物線を決め、同様のことを繰り返して最大値を求める(図2)。

図2の横軸は、ここでは移動・回転のパラメータ値を表すことになる。すなわち、x, y, z軸平行移動とx, y, z軸回転である。これらの移動・回転操作で移動した先の座標(x', y', z')と元の座標との間には次式の関係がある。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

ここで、a, b, c, はそれぞれx軸, y軸, z軸の平行移動量,

α, β, γ はx軸, y軸, z軸周りの回転角度である。したがって、この移動・回転操作を行なってMIを逐次計算し、すべて移動・回転パラメータに関してMIが最大となる1組6パラメータを決定することになる。

図3に画像重ね合わせ(フュージョン画像作成)処理の全体のフローを示した。まず、2つのモダリティから画像を取得する。次に、両方の画像のサイズ、画素数が同じになるようにデータを加工調整する。その後の相互情報量の最大化に当たっては、前記①, ②, ③の3点としてパラメータの上限値, 下限値, その間に、上限値からの距離と下限値からの距離が黄金比となる1点を取り、それぞれの移動または回転操作を実施し、相互情報量を計算する。この3点の情報から、Powell法により④を決定し、さらに最大値の探索を繰り返す。この繰り返しの中で新たに得られる相互情報量の変化があらかじめ決めたいしきい値より小さくなったら繰り返し処理を終了し、パラメータの最適値を決定する。このとき用いるしきい値は4章で述べる数値シミュレーションで重ね合わせ精度が±0.3mm以下となるように決定した。

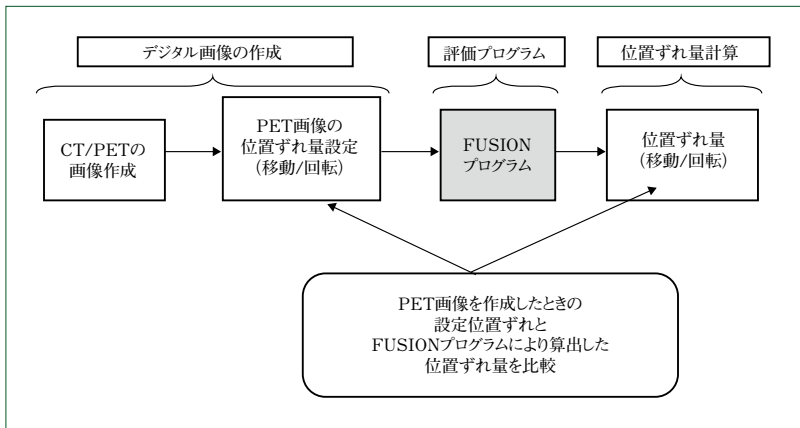


図5 検証実験フロー
Flow of verification experiment

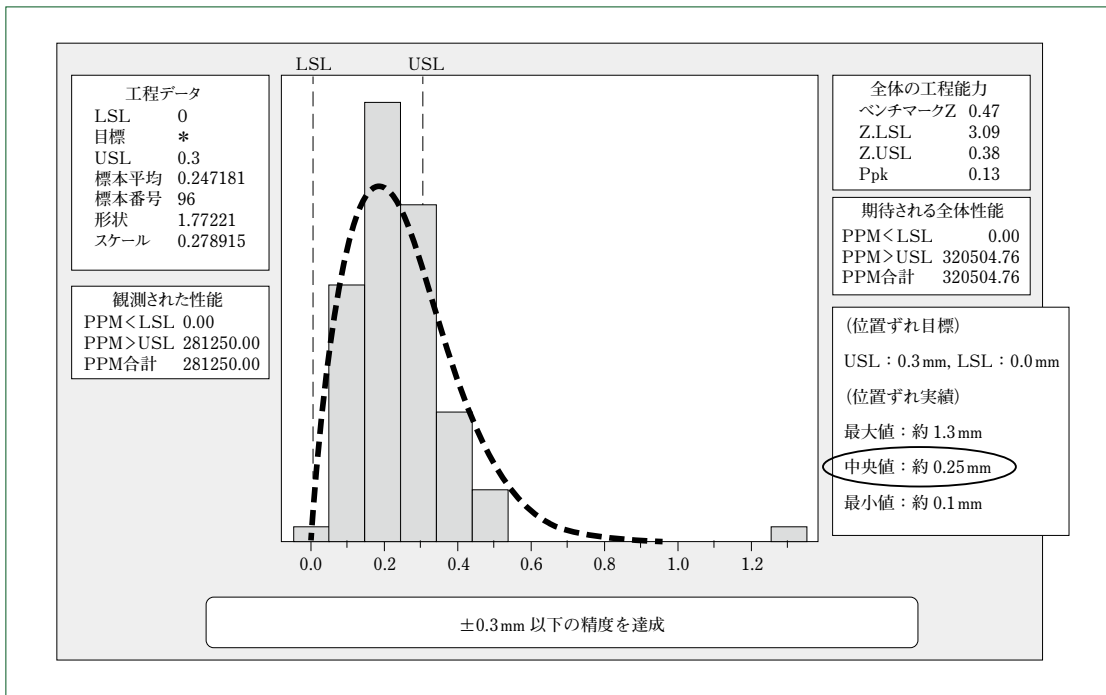


図6 計算機シミュレーション結果
Result of a computer simulation

4 計算機シミュレーション

3章で説明したフュージョン画像作成法を用いて得られる重ね合わせ画像の精度を検証すべく、数値シミュレーション法を検討した。検証に用いた元画像には、一般的に画像処理の検証でよく用いられるShepp-Logan (S-L) ファントム(図4)を用いた。このファントムは頭部構造を模擬したもので、図4に見られるCT画像の白い部分は頭蓋骨、その内部のグレーの部分は脳などの正常組織で、左上のXY断面の中央やや下に見られる薄い白色の部分とXZ断面(左下)の下部に見られる黒い部分を、腫瘍などの異常組織として模擬している。一方、PET画像の明るい橙の部分は異常組織(腫瘍)、薄い紫の部分が正常組織を表わしている。

4.1 方法

このS-Lファントムに対して、位置ずれ量(平行移動、回転角度)、バックグラウンドのノイズ量および画像の濃度の画像パラメータを加工して、96パターンのファントムを用意した(平行移動: 3軸でそれぞれ-2 mm, 0 mm, 2 mm, 回

転角度: 3軸の周りでそれぞれ-5°, 0°, 5°, バックグラウンドノイズ量: 2.5および25, 画像の濃度: 0, 10, 100と変化させた)。

作成した各ファントム(CT画像と加工PET画像)を対象としてフュージョン画像の作成を実施し、フュージョンソフトから出力された位置ずれ量と、設定したファントムの位置ずれ量を比較し、重ね合わせの精度を検証した。精度検証の全体のプロセス・フローを図5に示した。

4.2 結果

4.1で説明した計算機シミュレーション法により96パターンのファントムに対して実施した重ね合わせ精度検証の結果を図6に示す。位置ずれの中央値は0.25mmの結果が得られ、目標の0.3mm以下の重ね合わせ精度を達成した。

ずれ量が大きな(>1.2mm)ものもあるが、これは用いたファントムをXY面で形状定義したので、YZ面、ZX面では階段状の分布(図4 CT画像YZ面頭蓋骨部分)となり、ここでのずれ値が大きく影響したことによる。すなわち、このファントムに回転ずれが与えられると、回転して重ね合わせるPET

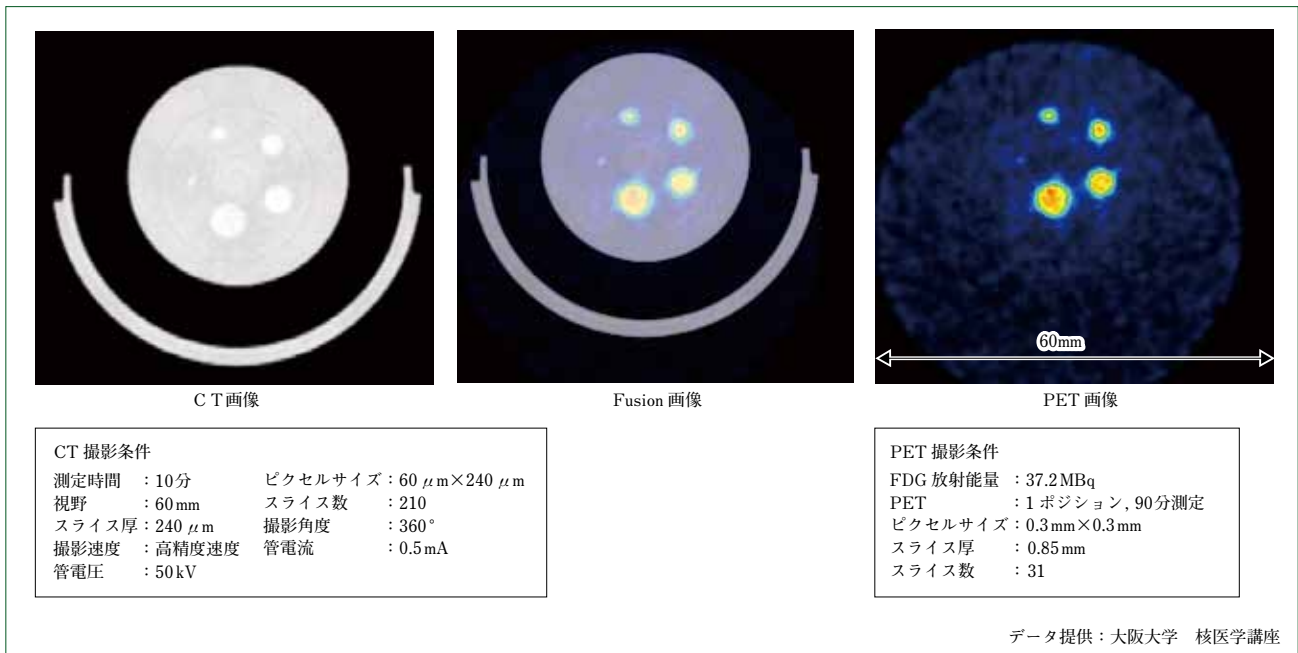


図7 PET・CTフュージョン画像(ファントム)
PET-CT fusion image of a phantom

画像のほうが滑らかであることから、良い一致が得られなくなったものと思われる。

5 実測データへの適用

本画像フュージョンソフトを実測データに対して適用し、その性能を確認した。

使用機器は、当社の半導体PET装置 MIP-100と、日立アロカメディカル株式会社製のCT装置 LCT-200である。これらの装置を使用して、レンコン状の穴が開いた円筒ファントムとマウスの胸部を撮影して画像化し、その二つの画像からフュージョン画像を作成した。

5.1 円筒ファントム

このファントムは、33mm ϕ の亚克力樹脂でできた円筒に、1mm ϕ 、2mm ϕ 、3mm ϕ 、4mm ϕ 、5mm ϕ の穴が空けられたものである。この穴の中にPET薬剤を封入し、PETによる測定を行う。

本実験においては、 ^{18}F -FDGを使用した。これは一般的にPET薬剤として使用されるもので、ブドウ糖を陽電子放出核種の ^{18}F で標識した薬剤である。この ^{18}F -FDGをファントムに封入し、10分間のCT測定を行い、その後90分間のPET測定を行った。測定開始時の ^{18}F -FDG放射エネルギーは、37.2MBqであった。

図7に、本実験で得られたCT画像、PET画像およびその2つから作成されたフュージョン画像を示す。PET画像ではファントムの穴に封入された ^{18}F -FDGのみが画像化されているのに対して、CT画像ではファントムの樹脂部分やファントムを乗せたベッド(画像下の半円形の部分)が画像化されている。フュージョン画像では、 ^{18}F -FDGが封入されている1~5mm ϕ の穴がPET画像とCT画像でよく一致していることが確認できる。

5.2 マウス胸部

次に、マウスの胸部の測定を実施した。本実験で用いた

マウスは、胴体の直径が約20mm程度の小さなものである。マウスの撮影もファントム撮影と同様に ^{18}F -FDGを投与後、10分間のCT測定を実施し、その後30分間のPET測定を行った。測定開始時の ^{18}F -FDG放射エネルギーは、35.6MBqであった。

図8に、本実験で得られたCT画像、PET画像およびその2つから作成されたフュージョン画像を示す。PET画像では、心臓以外の部位は ^{18}F -FDGの集積量が低いことから鮮明には画像化されていないが、 ^{18}F -FDGの高集積部位である心臓は鮮明に画像化されている。一方、CT画像では、マウスの胸部の形状が画像化されている。フュージョン画像では、PET画像とCT画像の心臓がよく一致していることが確認できる。

このように本画像フュージョンソフトは、理想的な条件で得られた計算機シミュレーションの画像だけでなく、実測データに対しても高精度なフュージョン画像を作成可能であることが確認できた。

6 むすび

- (1) 半導体PET MIP-100にマルチモダリティ機能を付加すべく、画像フュージョンソフトを開発した。
- (2) 開発した画像フュージョンソフトのフュージョン精度を計算機シミュレーションにより測定を行った結果、PET画像の画素サイズ \pm 0.3mm以下の精度が得られた。
- (3) 日立アロカメディカル株式会社製のCT装置 LCT-200と組み合わせて、PET・CTフュージョン画像作成を行った結果、よく一致しており、実測データに対しても本開発画像フュージョンソフトが有効であることが確認できた。
- (4) \pm 0.3mm以下の精度のフュージョン画像が作成可能であることから、当社半導体PETの空間分解能0.5mmを劣化させることのない高分解能なフュージョン画像が得られるようになった。

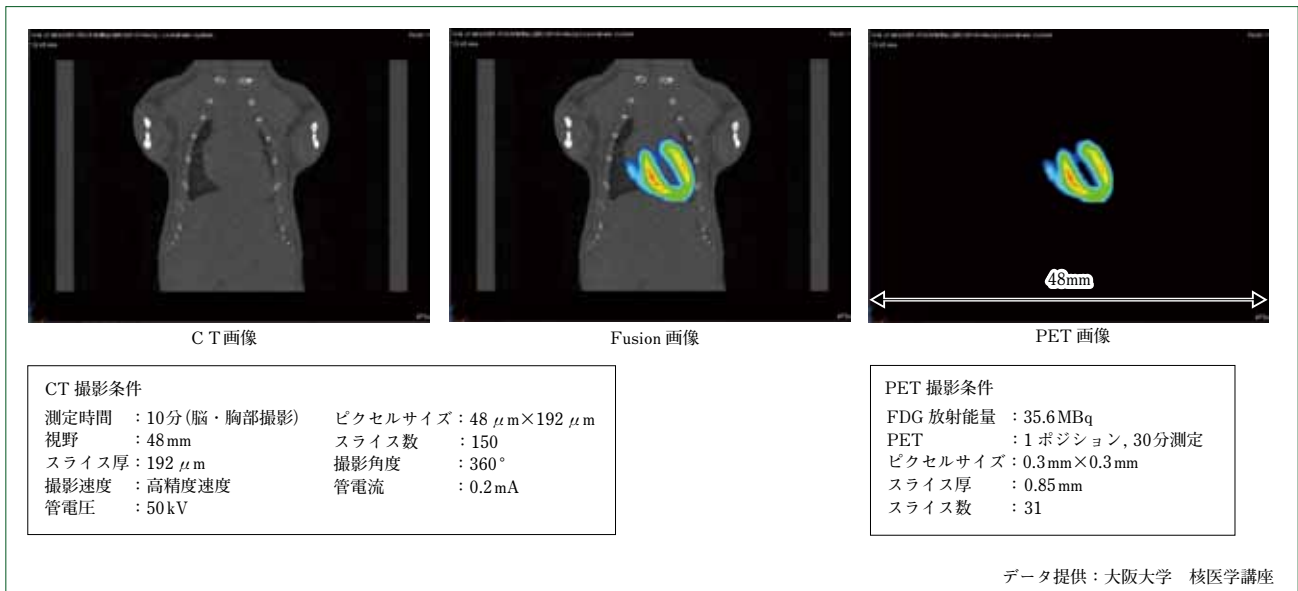


図8 PET・CTフュージョン画像(マウス心筋)
PET-CT fusion image of a mouse's heart

(5) 今後、まだ実機試験が不十分であるので、フィールドテストで実績を重ねる。また、フュージョン計算に数分の時間がかかることから、これをソフトウェア/ハードウェア技術により短縮化する。さらに次の段階として、陽子線治療装置の患者位置決めや照射実績確認用のPET画像などにフュージョン技術を展開していく。

(参考文献)

- (1) K.Ishii, Y.Kikuchi, T.Yamaguchi, First achievement of less than 1mm FWHM resolution in practical semiconductor animal PET scanner, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, vol.576, Issues 2-3, 2007, p.435-440.
- (2) K.Ishii, Y.Funaki, T.Yamaguchi, FDG imaging of 1mm tumor with an ultra high resolution animal PET, Biomedical Imaging: From Nano to Macro, ISBI 2008 5th IEEE International Symposium, 2008, p.1589-1592.
- (3) K.Ishii, Y.Kikuchi, T.Yamaguchi, High Resolution Semiconductor Animal PET, Current Medical Imaging Reviews, vol.4, no.1, 2008, p.51-55.
- (4) S.Momosaki, R.Hosoi, O.Inoue, [F-18]FDG imaging of mice brain using a high resolution semiconductor PET camera (Sumitomo MIP-100), Journal of Nuclear Medicine, 50 (Supplement 2):1523, 2009.
- (5) 渡部浩司, マルチモダリティの画像位置合わせと重ね合わせ, 日本放射線技術学会雑誌, 第59巻, 第1号, 2003, p.60~65.
- (6) Frederik Maes, Andr'e Collignon, Multimodality Image Registration by Maximization of Mutual Information, IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, vol.16, no.2, APRIL, 1997, p.187-198.
- (7) M.Farmer, Mutual Information for Image Registration and Feature Selection, http://www.cse.msu.edu/~cse902/S03/mut_info.ppt.
- (8) William H.Press, Saul A.Teukolsky, NUMERICAL RECIPES in C (日本語版), 技術評論社, 1993, p.289-292.
- (9) MIST Project, <http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/trac/>, 名古屋大学.

先端電池電極評価技術

Evaluation Technique for Advanced Battery Electrodes

●中 條 晃 伸* 井 藤 友 恵* 石 坂 拓 也* 勝 田 直 子*
Terunobu NAKAJO Tomoe ITO Takuya ISHIZAKA Naoko KATSUTA



図1 ジェットペースタ外観
Appearance photo of Jet Paster

リチウムイオン電池(LIB)やキャパシタを用いた応用機器は多く存在する。産業界では、動力回生するハイブリッド型のショベルおよびクレーン、リチウムイオンを搭載したハイブリッド自動車や電気自動車などがそれに当たる。また、東日本大震災の影響により再生可能エネルギーの利用が重要視されているが、太陽光・風力で発電した電力を貯蔵する蓄電デバイスには、LIBが利用されている。

LIBやキャパシタを製造するには、材料を混練する技術が重要である。当社では、日本スピンドル製造株式会社のジェットペースタ(JP)と従来の混練機を、材料分散という観点でレオロジー挙動の測定および電気化学計測をもとに評価を行っている。本報では、当社で実施している電極評価技術を紹介する。

There are many applied equipment examples using lithium-ion battery (LIB) or capacitor. In the industry, it includes hybrid excavator and crane with regenerative system, and hybrid and electric vehicles equipped with lithium-ion batteries. In addition, the Tohoku earthquake has aroused the situation where the use of renewal energy has been emphasized, and LIB is now used as an energy storage device to store electric power generated by photovoltaic and wind power generation system. To manufacture LIB or capacitor, a technique to mix battery materials is important. From the standpoint of the material dispersion, Technology Research Center of Sumitomo Heavy Industries, Ltd. has been assessing the performance of a conventional mixer and that of a new type of mixer named "Jet Paster" manufactured by Nippon Spindle manufacturing, Co. Ltd. through the measurement of rheological and electrochemical behavior. This paper introduces the electrode evaluation technology being implemented by Technology Research Center.

1 まえがき

リチウムイオン電池の市場は、スマートフォンおよびモバイルPCなどにより牽引され、電気自動車や産業用機器などへ拡大し、需要が増加している。また、ハイブリッド型自動車などに利用される高出力LIBやリチウムイオンキャパシタなどの新型蓄電デバイスも登場し、競争が激化している。近年では、FEMS(工場エネルギー管理システム)やHEMS(家庭用エネルギー管理システム)と呼ばれるエネルギー監視シ

ステムが重要視され、そのシステムにLIBなどの先端電池が利用されている。LIBが商品化されてから市場は急成長し、1兆円を超える市場が形成されつつある。

電池やキャパシタを製造するには、材料の混練技術が重要である。いかに安定な電極スラリーを作製し、次の塗工プロセスへ受け渡すことができるかが難しい。混練工程はノウハウが凝集しているキープロセスである。最新の混練機では、材料投入の順序を気にせず一括投入でき、混練時間は瞬時である。

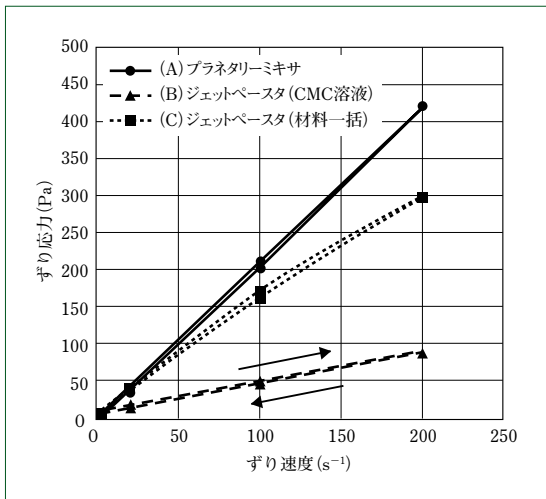


図2 EDLC用スラリーの流動曲線
Flow curves of EDLC slurry

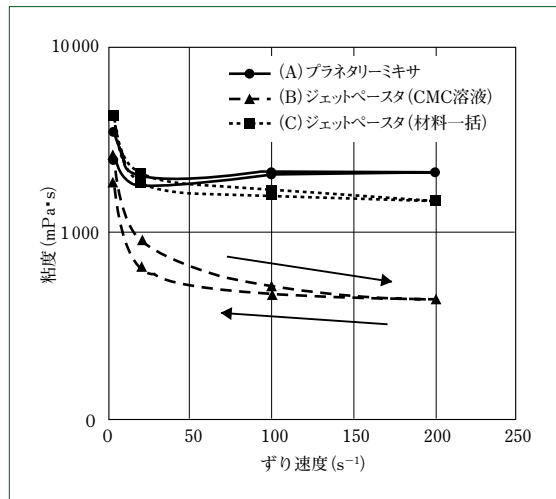


図3 EDLC用スラリーの粘度曲線
Viscosity curves of EDLC slurry

当社では、充放電可能な蓄電デバイスを対象として電極評価技術研究を行っている。本報では、材料分散に注目し、従来の混練機と最新の混練機の分散評価を、電極スラリーのレオロジー挙動の測定や電気化学的な測定をもとに行ったので紹介する。

2 電極スラリーの分散技術

電気二重層キャパシタ(EDLC)やリチウムイオンキャパシタ(LIC)は、高出力かつ長寿命なデバイスであり、近年、回生、ピークカットおよび電源バックアップなどの用途で用いられている。EDLCの両電極およびLICの正極は、活性炭を主成分として水系および有機溶媒系の電極スラリーをアルミニウム箔上に塗布し、作製される。電極スラリーは、カルボキシルメチルセルロース(CMC)を増粘剤として粘度調整されるが、各種材料の配合比と溶液中の分散状態および粘度により、塗工後の電極性能を左右すると考えられる。

混練は、分散状態を大きく左右する操作の一つである。従来混練機として使われているものの代表格はプラネタリーミキサーであり、良好な分散状態を実現するには、材料の投入順序、溶媒のこまめな調整、混練スピードおよび時間という多くのパラメータをバランスよく選択する必要がある。特に溶媒に水を利用した場合の調整は困難で、たとえば、導電助剤にケッチェンブラックを規定量の水に混ぜようとしても粒子が浮上してしまい混ざらない。

分散を向上させるには、水分を比較的落とした状態での固練りプロセスが重要となっていた。近年の混練技術は目覚ましく、当社のグループ企業である日本スピンドル製造株式会社は、従来の混練機とまったく異なる思想で開発されたJPを電極スラリー混練機として2010年に上市した(図1)。

JPの特長は、従来型のプラネタリーミキサーと比べて、混練時間が圧倒的に短く(数分程度)、固練りなどのこまめな水分調整が不要で、粉体と液体を一括投入しても分散できることである。スラリーの作製はワンパスタック交互交換方式と呼ばれ、スラリーを複数回JPに通過させることで塗工ばらつきが少ない安定なスラリーを作製できる⁽¹⁾⁽²⁾。

当社は、従来用いられてきた混練機と最新混練機との相違を、材料分散評価を行うことで調査している。実際には、流

動曲線からレオロジー解釈を行うとともに、電極の顕微測定を実施し、さらに作製した電極を用いてセルを作製し、電気化学インピーダンスおよび充放電による電気特性を取得することで、総合的な評価を実施している。

3 電極スラリーのレオロジー

LIBの負極やEDLCで用いられる電極材料は、黒鉛や活性炭に加えて、電気的パスの確保に用いるカーボンブラック(前述のケッチェンブラックおよびアセチレンブラックなど)や活物質を固着させるバインダ(水系スラリーではジエン系ゴムバインダやアクリル系ゴムバインダなどが市販されている)があり、セルの目標特性に応じて、さまざまな配合比で分散される。ただし、所望の特性を得るべく配合設計されたものでも、結局は電極として作製できなければならず、電極スラリーは塗工安定性が要求される。水系スラリーで安定なスラリー作製には、CMCなどの増粘剤の効果が塗工安定性を得る重要ポイントとなる。

EDLCではおおむね、バインダとCMCを重量比で3%、2%ずつ加え、それ以外の材料は活性炭とカーボンブラックで構成される。スラリー濃度は30%前後であれば、ラボ用コータなどの塗工機で電極作製可能である。これは、EDLCの例であるが、ヤシ殻水蒸気賦活炭、ケッチェンブラック、スチレンブタジエンゴム(SBR)およびCMCナトリウム塩(株式会社ダイセル製)をこのスラリー濃度と配合比により、各混練機にてスラリーを作製し、粘度測定を行った。図2および図3にその結果を示す。

プラネタリーミキサーでの混練条件は、CMCは溶液での投入、バインダは主成分混練後に投入しており、10~50r/min程度で段階的に回転数を落としながら1時間程度混練している。一方、JPでは材料を一括投入し、混練部分のロータ回転数は3600r/minで4回程度JPをパスさせている。また、同様の回転数にてCMC溶液で投入し、作製したスラリーも計測している。JPの混練時間は1分程度とプラネタリーミキサーと比べ桁違いに速い。

図中(A)は、プラネタリーミキサー、(B)および(C)はJPで混練したスラリーの粘度曲線であり、(B)は材料を一括で投入した例である。(C)はCMCを溶液で投入した場合を示して

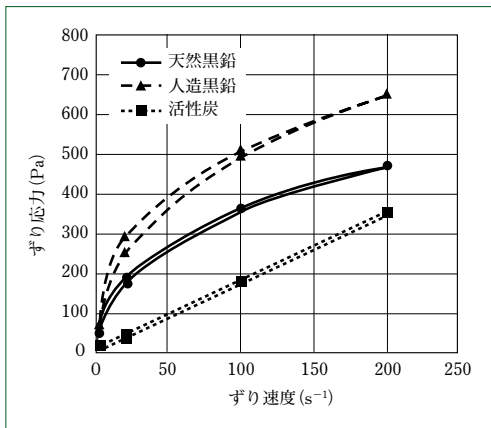


図4 LIB負極用スラリーの流動曲線
Flow curves of negative electrode slurry for LIB

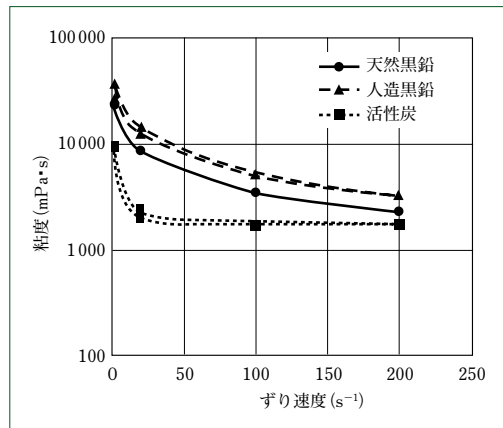


図5 LIB負極用スラリーの粘度曲線
Viscosity curves of negative electrode slurry for LIB

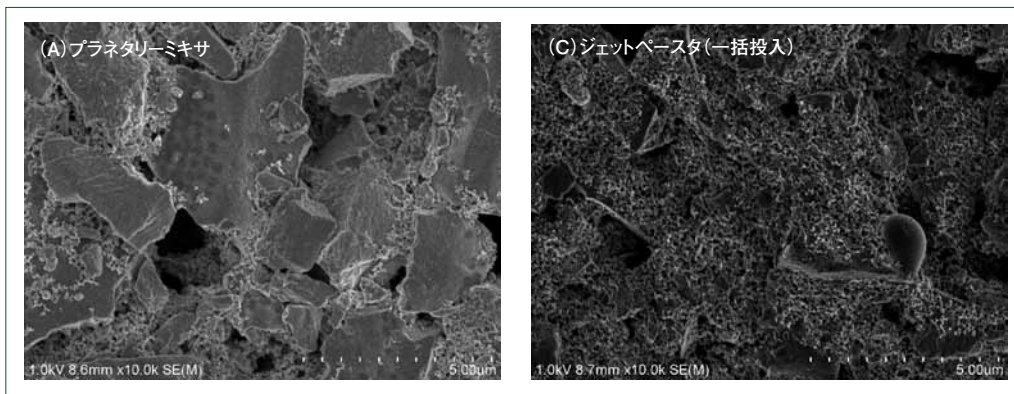


図6 EDLC用電極の電子顕微鏡写真
Scanning electron microscope images of EDLC electrodes

いる。図2は、EDLC用スラリーの流動曲線を示している。流動曲線は、低ずり側から高ずり側に向かって連続的に測定し、高ずり側から低ずり側に戻るように測定している。これは、ヒステリシスを観察することで、流体の時間挙動を把握するのが目的である。また、温度によって粘性が変動することから、試料温度は30℃で温調をかけながら粘度測定している。粘度計は、コーンプレート型粘度計(東機産業株式会社製)を使用しており、B型粘度計よりも少量で計測でき、サンプル内でずり速度が一定、高ずり測定が可能であることから、非ニュートン流体のレオロジー測定に適している³⁾。

(A)および(C)はニュートン流体に近い挙動を示しているものの、ヒステリシスが見られる。(B)はやや湾曲しており、擬塑性流体とも見られる。図3の粘度曲線を見ると、(B)および(C)は低ずり側で急激な粘度低下があり、高ずり側でほぼ一定の粘度となるが、高ずりから低ずりに戻すと元の高い粘度には戻らない。これは、チクソトロピー性の流体挙動であり、構造粘性を示している。高ずり側でせん断力がかかることで構造破壊が起こるが、回復に時間を要することから低ずりに戻ってもすぐに構造復帰しない。今回計測のスラリーは、低ずりでも比較的早く回復が見られる。このような挙動は、塗料を塗布する際にダレ性として重要であり、塗工時の厚さばらつきに影響すると考えられる。

一方、(A)のプラネタリーミキサでは、低ずりから高ずりにかけて粘度低下が起こっているが、途中粘度上昇しており、ダイラタント挙動が見られる。さらに、高ずりから低ずりにかけての戻りでは、高粘度側にシフトしており、レオペキン

ーと見られる。これは、粘土スラリーのような高濃度で大きな分子量の溶液での挙動と酷似している。粘度曲線だけでは判定は難しいが、プラネタリーミキサで1時間程度の混練では分散は進んでおらず、凝集体が存在している可能性がある。

量産性に乏しいが、ラボレベルで混練に使われる自公転ミキサでLIBの負極活物質である黒鉛をミキシングし、そのレオロジーについて調べた例を紹介する。負極スラリーの作製は、天然黒鉛または人造黒鉛を使用し、鱗片状人造黒鉛を導電助剤として、黒鉛および導電助剤をCMC(日本製紙株式会社製)水溶液に分散させ、スラリー化した。バインダ以外の活物質を混練した後にバインダを加える。

天然黒鉛と人造黒鉛の粒径はともに20 μ mと、ヤシ殻系活性炭よりも3~4倍大きいものを利用している。比表面積についても数 m^2 でほぼ同等のものである。CMCおよびバインダの成分比は重量比で1%および3%、残りは黒鉛となる。図4および図5に、流動曲線と粘度曲線を示す。比較用に自公転ミキサで作製した際の活性炭スラリーを載せている。

黒鉛の流動曲線は活性炭のものとは異なり、大きく上に凸の曲線となる。したがって、流動方程式 $s = \mu D^n$ (s はずり応力、 μ は非ニュートン粘性係数、 n は非ニュートン粘性指数)の n は1以下となり、擬塑性流体となる。図5では、高ずり側で活性炭はほぼニュートン流体の挙動を示しているが、黒鉛系はやはり擬塑性流体の挙動であり、時間応答を見ると回復が早く、行きと戻りの粘度曲線はほぼ同じである。したがって、せん断力を取り除くとたちまち粘度変動が起こることから、塗工する際の粘度管理が必要と考えられる。その反面、

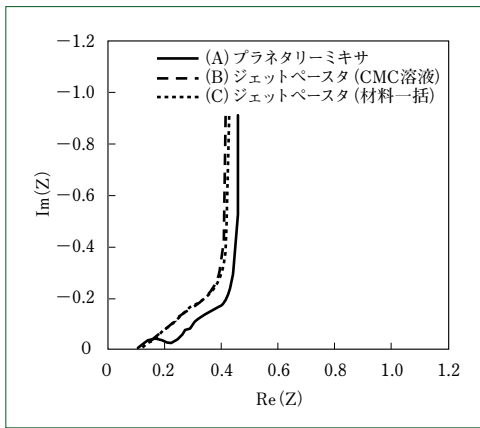


図7 EDLC用電極の電気化学インピーダンス測定
Electrochemical impedance spectra of EDLC electrodes

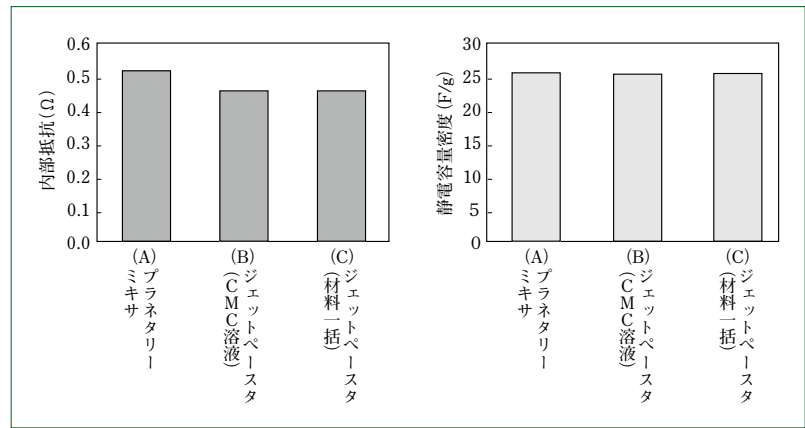


図8 EDLC用電極の電気特性
Electrical properties of EDLC electrodes

構造回復が早いので、塗工面のエッジのダレは起こりにくい。比較で示した活性炭のような粘度曲線が好ましいと考える。すなわち、高ずり側でニュートン挙動および構造回復がある程度早いスラリーが最適という結論となる。天然黒鉛と人造黒鉛では、出発材料が異なると流動および粘度曲線の絶対値は異なるものの、粒径および比表面積が同一であれば、同じような曲線を描くことができる。

4 電極性能評価

各混練機で作製した電極スラリーは、ラボ用コータを使用してアルミニウム箔上に塗工して電極として仕上げ、電子顕微鏡で観察している。図6は、3章で述べたEDLC用の電極スラリーから作製した電極の電子顕微鏡写真である。左の写真は、(A)プラネタリーミキサ、(C)JP(材料一括投入)で混練したものである。(A)の写真中5 μ m程度のサイズの粒子が活性炭であり、白色の細粒がケッチェンブラックである。全体的にケッチェンブラックが少なく観測されており、活性炭表面が露出していることが分かる。JPで混練したものは、活性炭表面がケッチェンブラックに覆われており、粒子間の導電パスが確保された良好な状態にある。

レオロジー挙動および電子顕微鏡写真により混練機の相違が明らかになったが、最終的には蓄電セルを作製し、電気性能を取得しなければ優劣判断が難しい。当社では、セルの作製も可能である。セル作製手順は、①3 cm角型電極に裁断、②150 $^{\circ}$ C12時間電極乾燥、③正負極にセパレータを挟み3方ラミネート、④電解液を注液、としている。一連の工程は露点-50 $^{\circ}$ C以下のドライ雰囲気中で行う。このような手順で作製したセルについて、電気化学インピーダンス測定(EIS)および充放電試験を実施した。EISの条件は、0.1Hz~30kHzまでの周波数範囲で振幅0.1V程度を交流印加している。

図7に、EISの測定結果であるナイキストプロットを示す。X軸はインピーダンスの実数成分、Y軸は虚数成分である。先に述べた活性炭の系であるが、(A)プラネタリーミキサ、(B)、(C)JPから作製した電極である。高周波側は図7のナイキストプロット左側から右側に向かって周波数が低下していくが、(A)のプラネタリーミキサは容量性半円が見られる。これは、粘度計測および顕微鏡観察から活物質分散が影響しており、粒子およびアルミニウム箔上の接触抵抗が高いことを示している。すべての系において、斜めに延びているのは

活性炭ポア内の抵抗と見られるが、活性炭種は同一なのでその挙動に変化はない。(B)や(C)は容量性半円が見られず、低周波側で虚数軸に対して平行に立ち上がるコンデンサ特有のブロッキング電極の挙動が見られており、良好な特性のEDLCと評価できる。

最終的には充放電装置を用いて、静電容量と内部抵抗を計測している。図8がその結果である。左側のグラフが内部抵抗、右側が静電容量密度である。静電容量密度は、計測した静電容量を各(A)~(C)の電極のみの重量で除した。静電容量密度は、すべての系で同一と見られる。内部抵抗については、ナイキストプロットでも表れていたように(A)のプラネタリーミキサが大きくなっており、(B)、(C)のJPではほぼ同一の抵抗値であった。詳細は研究段階であるが、プラネタリーミキサで作成したスラリーを使用したキャパシタは、内部抵抗が高くて、充電時間を確保することで十分に静電容量は発現できているものの、より高出力を要求される用途(ハイブリッド車用蓄電デバイスなど)では、JPで分散を向上させることが重要であると評価できる。

5 むすび

- (1) 本報では、電池電極スラリーの評価をレオロジーおよび電気化学計測を合わせて評価した。
- (2) 同一材料系で配合比も同じものでも混練方式によってスラリーのレオロジー挙動が異なり、分散が不十分なことにより導電パスが取れず、内部抵抗へ影響することが明らかとなった。
- (3) JPでは、従来の混練機と比べて瞬時に混ぜることができうえ、電極スラリーの分散状態も良好であり、量産型の電池スラリー製造装置として導入できると考えられる。

(参考文献)

- (1) 浅見圭一, ジェットペースタの挑戦 電極スラリーの高連続製造装置の開発へ, 日本スピンドル技報, no.51, 2011, p.16~20.
- (2) 浅見圭一, ジェットペースタの基本特性, 日本スピンドル技報, no.52, 2012, p.22~26.
- (3) 川崎種一, 回転粘度計による粘度測定の実際, New Food Industry, vol.22, no.44, 1980.

CO₂レーザーを用いた銅箔直接加工に関する熱加工シミュレーション

Thermal Processing Simulation for Cu Direct Infrared Laser Drilling

● 岡田 純 —*
Junichi OKADA

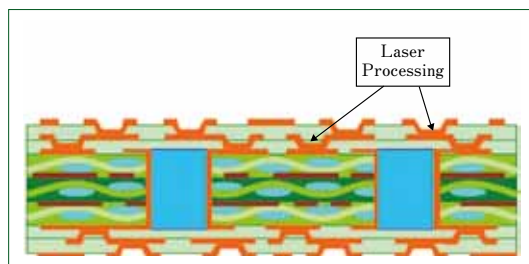


図1 ビルドアップ基板のビア穴接続形状
Via hole shape of build-up printed wiring board



図2 レーザドリル装置
CO₂ laser drilling system SLR-700T

1 はじめに

近年、携帯電話を始めとする携帯情報端末の需要拡大および高機能化に伴い、プリント基板の実装技術は急速な変化を続けている。そして、プリント基板の高密度実装化には、ビルドアップ工法(一層ごとに積層、穴あけ加工および配線形成などを繰り返すことによって多層構造のプリント基板を製作する方法)が広く採用されている。

この工法を利用して作成された基板はビルドアップ基板と呼ばれ、図1に示すように表層銅パターンと内装の銅箔を導通させるビア穴を形成させるべくレーザードリル装置(図2)が用いられることが多い。プリント基板用レーザー加工機の光源としては、主にCO₂レーザーとUVレーザーの2種類がある。UVレーザー加工機は、微細穴径加工や銅箔表面未処理基板の直接加工などに用いられるが、スループットの面でCO₂レーザーの方が大きく勝っている。本研究においては、このCO₂レーザー加工プロセスのビア穴形成過程のモデルを得たので紹介する。

2 CO₂レーザー加工プロセス

図3に、現在行われている代表的なCO₂レーザーによる穴あけ工法のモデルを示す。

コンフォーマル加工法およびラージウィンドウ加工法は、フォトリソグラフィによりあらかじめ外層銅箔にウィンドウの形成を行い、樹脂層に対して直接レーザー加工を行う。樹脂加工においては、レーザー照射による材料のアブレーション現象が生じることで穴加工が進行する加工プロセスのモデルが確立⁽¹⁾⁽²⁾され、シミュレーション結果と実加工結果がよく一致し、加工形状の改善や加工方法の改良などの研究が盛んに行われている。

これに対しCuダイレクト加工は、外層銅箔と内層樹脂の両

方に対して直接加工する。これによりウィンドウ形成工程が不要になり、コスト面で有利であることから、近年は加工の主流となってきた。Cuダイレクト加工法では、銅の黒化処理や茶化処理などの表面処理の違いや、材質・厚みの多種多様化で、基板材料ごとに実験的に加工に必要な条件を見出す作業を行っており、多大な労力と時間を費やしている。これは、Cuダイレクト加工において、アブレーションモデルを用いてシミュレーションしても実加工結果と大きな差が生じ、加工現象を説明できないのが原因である(図4)。

3 加工モデル

本研究では、CuO層がアブレーション加工されて、Cu部が熔融した後、Cu下層部の樹脂が分解することで圧力上昇し、その圧力による爆発で上層の液化した銅を飛散させるモデルを考えた。手法として、加工プロセスの2次元非定常熱伝導解析を有限差分法にて行い、加工中の各基板材料の温度および状態を求め、状態判別によりシミュレーションを繰り返した。重要な点は状態判別であり、銅箔が気体となり蒸発除去された状態が銅箔の加工完了ではなく、液相状態の銅が下層部の樹脂の気体圧力により爆発飛散された状態を銅箔の加工完了と仮定したことである。

3.1 加工シミュレーションのフロー

レーザー加工プロセスの解析は、次の2段階の計算過程に分かれている。

- (1) 光源(CO₂レーザー 発振波長 $9.4 \pm 0.21 \mu\text{m}$)から発振されたビーム光が各種光学系により基板面に照射される。この過程は、回折を考慮したビーム伝播シミュレーションにて行われ、加工面のビームの空間プロファイル形状を求める。
- (2) 任意のパルス幅に(1)で規定される加工面ビームプロ

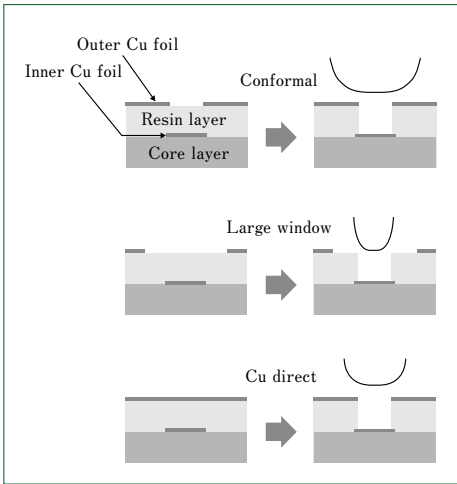


図3 レーザによるビア穴加工
Laser drilling process for via hole

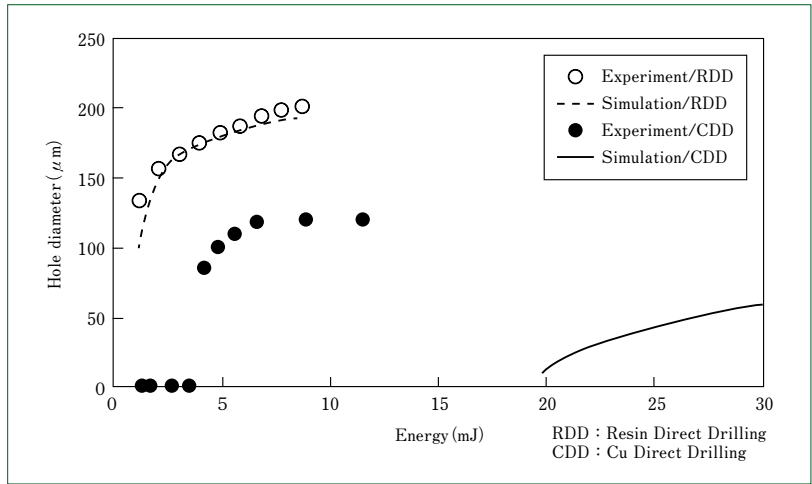


図4 アブレーションモデルにおけるシミュレーション結果と実験結果
Result of simulations using the evaporative removal model

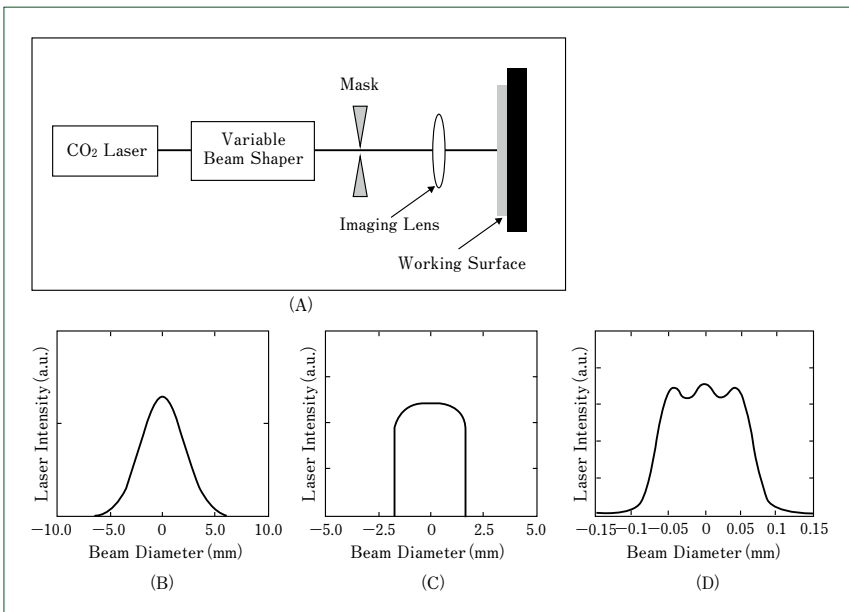


図5 レーザドリル装置の各位置でのビーム空間プロファイル
Optical setup of CO₂ laser drilling system and spatial beam profile control

ファイルによって基板上に熱量Qが与えられ、その熱が基板内を拡散する。基板内各層の熱量を熱伝導方程式にて計算し、基板内各層の状態を判別する。判別された状態より各層が除去されたかどうかの見極めを行う。

図5に、(1)のビーム伝播シミュレーションの結果を、図6に、(2)のフローを示す。

a. ビーム伝播シミュレーション

図5(A)に、レーザドリル装置の簡易的光学系配置図を示す。CO₂レーザー光源出射口のビーム空間プロファイル(B)による回折伝播モデルを用いて、各種光学系を通過した後のマスク面でのビーム空間プロファイルのシミュレーション結果を(C)に、加工面のビーム空間プロファイルを(D)に示す。回折伝播モデルを考慮することにより、実験値とシミュレーション結果がよく一致することを確認した。

b. 熱伝導方程式

入射ビームによって基板に熱量Qが与えられるとした場合、熱は基板内を式(1)の熱伝導方程式に従って拡

散する。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\text{div}(\kappa \text{grad}T) + Q \quad \dots\dots\dots (1)$$

与えられる熱量Qをソース項とした場合、式(2)のように示される。

$$Q = \alpha(1-R)I_0(t)F(r) \quad \dots\dots\dots (2)$$

(ρ :密度, C_p :熱容量, κ :熱伝導率, I_0 :時間に依存する入射パルス光強度, α :吸収係数, R :反射率, F :ビーム伝播シミュレーションで得られた加工面ビームプロファイル)

ここでは時間的に矩形パルスビームを用いて加工を行うことから、 $I_0(t)$ は時間に依存しない一定の係数として与えた。今回の場合、相転移を繰り返す系を扱うので(固相⇄液相⇄気相)、潜熱を考慮し熱拡散方程式を解く必要がある。このとき式(1)のまま温度関数(T)を用いて熱伝導方程式を解くと、相転移中の計算が困

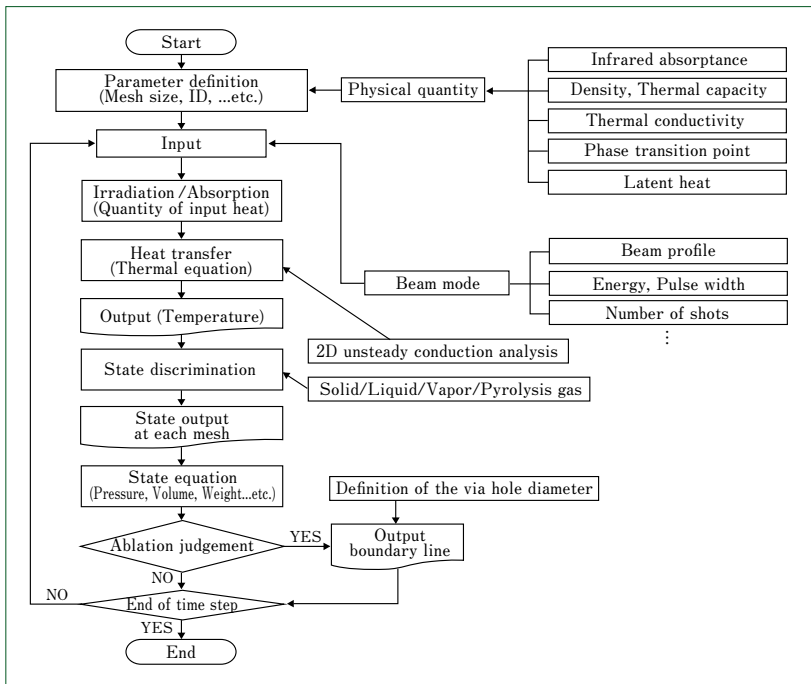


図6 加工シミュレーションの計算フロー
Flow chart of drilling process simulation

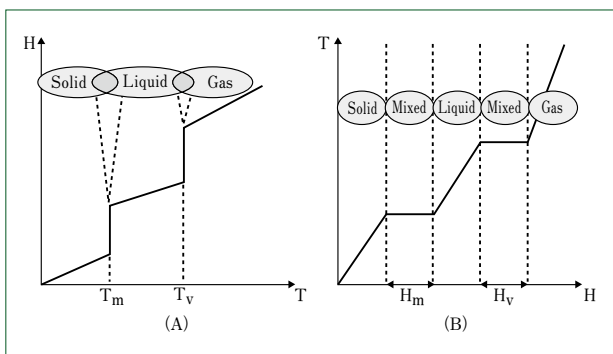


図7 温度関数の状態図
State diagram

難である。図7(A)にエンタルピ(H)と温度(T)の関係を示す。

温度関数(T)で状態を表そうとすると、相転移中の状態は一定温度(融点, 気化点: T_m, T_v)となり、相転移中に銅箔の飛散や、樹脂の除去が完了するような複雑な系を取り扱う本研究のシミュレーションには適さない。そこで式(1)をエンタルピ関数に書き換えることにより、各状態を表すことを可能にした⁽³⁾。このことから、潜熱を考慮しエンタルピの変化量は温度の関数で、

$$\Delta H(T) = \int_{T_0}^T \rho C_p dT + \xi(T - T_m)H_{latent,m} + \eta(T - T_v)H_{latent,v} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\xi(x) = \begin{cases} 1 & \text{when } x > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\eta(y) = \begin{cases} 1 & \text{when } y > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

と表すことができる(ξ, η : 階段関数, $H_{latent,m}$: 融解

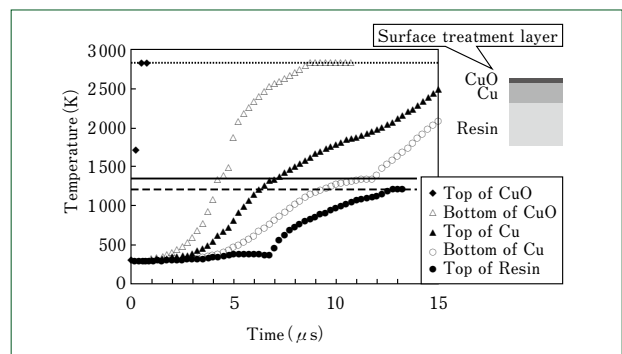


図8 各照射時間における各層の温度シミュレーション結果
Relationships between laser irradiation time and temperature for each layer

熱, $H_{latent,v}$: 気化熱)。エンタルピと温度は、

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (4)$$

となり、式(3), (4)を用いて

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\text{div}(\kappa \text{grad}T) + Q \quad \dots\dots\dots (5)$$

と表すことができる。図7(B)に、式(5)を用いてエンタルピ関数の状態図を示す。

3.2 シミュレーション結果

図8に、CuO: 2 μm , Cu: 10 μm , エポキシ樹脂: 60 μm , レーザエネルギー: 11.5mJ, 照射時間: 15 μs , 計算終了時間: 20 μs におけるシミュレーション結果を示す。

この結果によれば、CuO層の上面は1 μs 以内に、底面は10 μs 以内に蒸発する。この間、熱はCuO層から下層のCu層に伝わる。Cu層は上面で7 μs 後、底面で12 μs 後に融点(1357K)に達するが、気化点(2840K)には達していない。

一方、液相のCu層の下層にある樹脂層は徐々に分解が始まり気体化していき、12 μs 後には1200Kに達している。この時点で状態判別し、樹脂の爆発力で液相のCu層が飛散し、

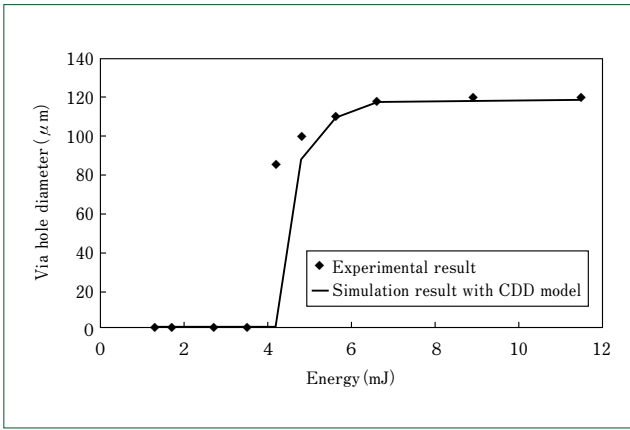


図9 加工エネルギーと穴径の関係
Relationships between laser energy and via hole diameter

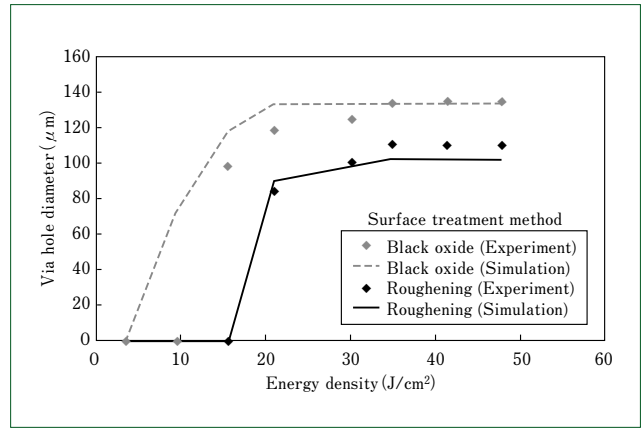


図11 エネルギー密度と穴径の関係
Relationships between laser energy density and via hole diameter

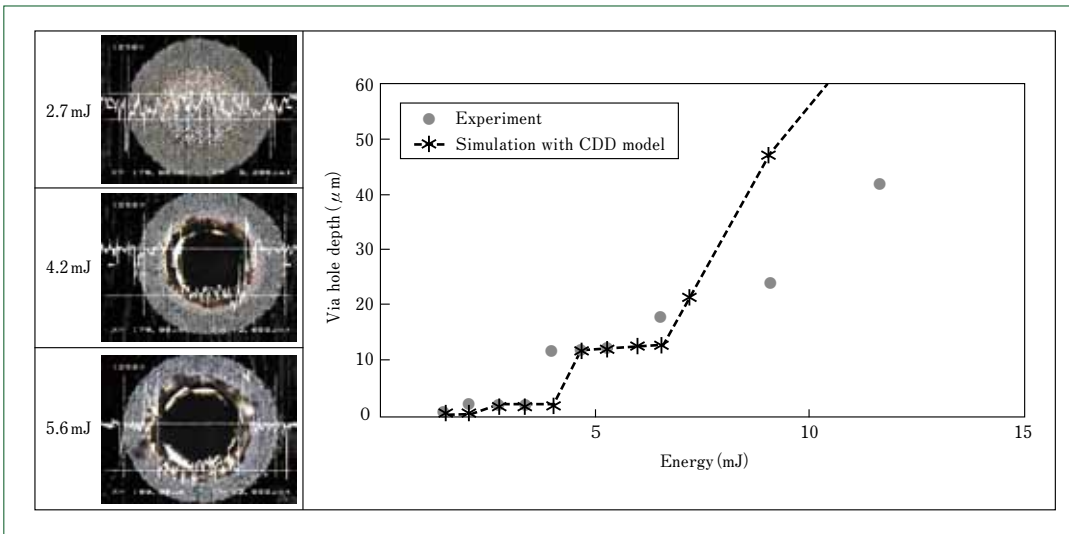


図10 加工エネルギーと加工深さの関係
Relationships between laser energy and via hole depth

Cu層の加工が完了するとみなす。

3.3 加工検証

本モデルを導入し、計算結果から加工エネルギーを変化させた場合の穴径をシミュレーションすると、実験値とよく一致した(図9)。

さらに、加工エネルギーと加工深さの関係も実験値とシミュレーション値と比較して、よく一致することを確認した(図10)。

3.4 応用例

図11に、本シミュレーション技術を応用して、異なる加工条件(空間プロファイルおよび加工時間)にて種々の銅箔表面処理基板を加工した場合のシミュレーション結果を示す。種々の条件を変化させた場合でも、実験値とシミュレーション値はよく一致した。

4 おわりに

- (1) アブレーションモデルで説明できなかったCuダイレクト加工法に、樹脂/銅箔界面の内圧により液相Cu層が飛散するモデルを導入することにより、加工プロセスが説明できるようになった。
- (2) (1)のモデルを用いることにより、加工穴形状をシミュ

レーションできるようになり、加工品質向上に結びつく技術である。

- (3) さまざまな基板材料(銅箔表面処理方法、樹脂種)に対応するシミュレーションであることから、新規材料の加工可否判断を事前に行うことが可能となる。

今後は本シミュレーション技術を用いて、各種材料に対し最適加工方法を提案できるツールにすることを検討する。また、本ツールにより良質な加工を実現できるレーザードリル加工機開発に結びつけてゆく所存である。

(参考文献)

- (1) Wei Han, Computational and experimental investigations of laser drilling and welding for microelectronic packaging, Worcester Polytechnic Institute, 2004.
- (2) 野口, 大村, 結像光学系の回折を考慮したプリント基板レーザー穴あけの樹脂除去解析, 精密工学会誌, 2005.
- (3) Chapter 4 Theory and modeling of laser heating and crystallization, 2000.

精密ステージ用モーション制御システム

Motion Control System for Precision Positioning Stage

●羽角信義*
Nobuyoshi HASUMI



モーションコントロールユニット
Motion control unit



サーボドライブユニット(サーボドライバ)
Servo drive unit (Servo driver)

1 はじめに

精密ステージは、半導体製造装置やフラットパネルディスプレイ (FPD) 製造装置の基幹コンポーネントである。半導体デザインルールの微細化や、FPDの高精細化とガラス基板の大型化、さらには装置のスループット向上要求を背景にして、精密ステージの高精度化や速度の高速化のニーズが高まっている。これに伴い機械構造も、粗微動構造や並列駆動機構など、より複雑さを増している。

当社ではこれに対応すべく、精密ステージ用モーション制御システムの開発を進め、多軸非干渉制御に対応した高速なサーボ演算処理を実現可能としたモーションコントローラや、サーボドライバおよび複数のセンサを併用して、より高精度な位置計測を実現する信号処理ユニットなどの製品化を行ってきた。本報では、精密ステージ用制御システムに求められる性能と、開発した製品の技術的特長について解説する。

2 精密ステージの構造と要求性能

精密ステージの構造には、各軸が機械的に干渉しないシリアルリンク機構の一般的なスタック型のほかに、大型FPD用のガントリー移動型ステージや、半導体製造装置用のサーフェスステージなど、Y軸とYAW軸が機械的に干渉した並列駆動機構を持つものも多く使われている。また、粗動ステージ上に3自由度以上の並列駆動型の微動機構を付加した超精密ステージも増えてきている。

シリアルリンク機構のみを制御対象とした場合、制御システムを構築する際において、サーボ系を各軸独立したものと

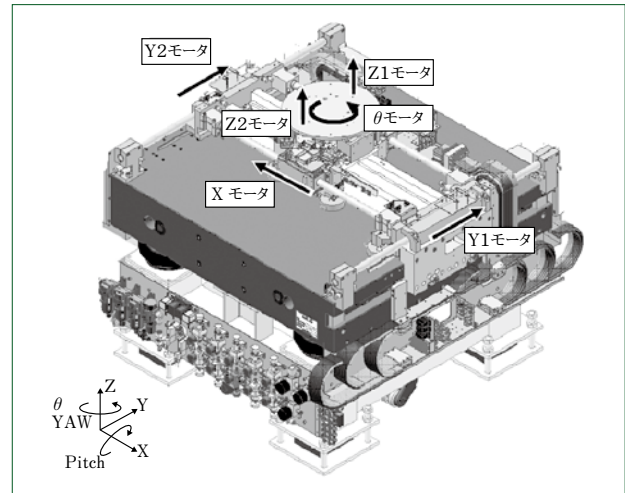


図1 サーフェス型精密ステージ
Precision positioning stage surface model

して機能実装することができる。たとえばスタック型のXYステージのサーボ演算は、それぞれの軸のサーボドライバ内で独立に処理することが一般的である。

これに対して、並列駆動機構を制御対象とした場合には非干渉制御が必要になり、サーボ演算は多入力多出力系となる。したがってこの処理の実装は、単軸のサーボドライバで行うことはできず、多軸の情報が集中するモーションコントローラで処理することが必要となる。

図1に、半導体製造装置などに使用されるサーフェス型精密ステージを示す。このステージは、3台のリニアモータを用いたX、Y、YAWの3自由度の下部機構と、1台のボイスコイルモータ駆動による θ 軸および2台のボイスコイルモータによるZ、Pitchの2自由度の上部機構から成る。このうちYとYAWの2自由度およびZとPitchの2自由度は、それぞれ2台のモータを使用した並列駆動機構を持っている。

各軸に求められる制御性能は、その使用目的の違いからそれぞれ異なっている。一般にYAW、Pitch、 θ の各回転軸は、ステージ上の搬送対象物の姿勢を維持する目的で使用され、応答性や精度に関する性能要求は高くない。一方でX、Y、Z軸の各並進軸は、停止時安定性や速度安定性はもちろんのこと、実時間で変化する位置指令や速度指令への高い追従性が要求される場合が多い。

3 完全同期した制御演算動作と分散処理

開発したモーション制御システムは、多軸の非干渉制御演算を高速に処理することを狙いとして構成されている。図2に、半導体製造装置用のサーフェス型ステージへ適用した例を示す。

制御システムを構成する制御機器は、モーションコントロールユニットが1台、サーボドライバが6台、リニアスケ

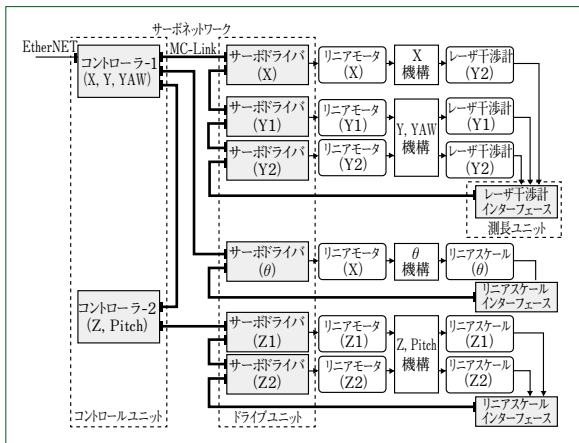


図2 制御システム構成例
Example of control system design

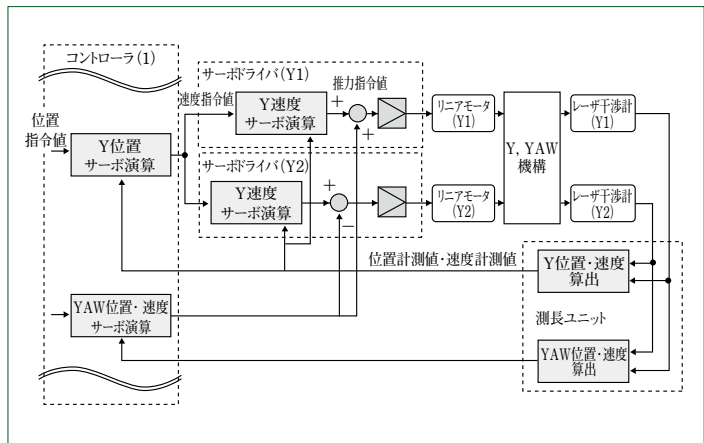


図3 サーボ処理機能実装例 (Y, YAW制御部)
Implementation example of servo function (Y, YAW)

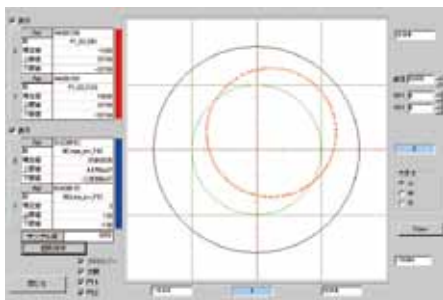


図4 モニタ画面例(リニアスケールのリサージュ波形)
Example of Lissajous curve screen

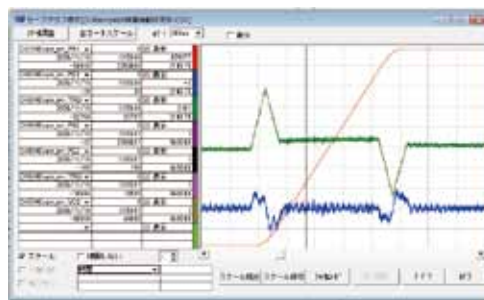


図5 モニタ画面例(推力指令値と位置偏差波形)
Example of force command and position error screen



図6 簡易操作画面例
Example of operation screen

ルとレーザ干渉計の信号入力を行う測長ユニットが1台である。各機器は当社独自のサーボネットワーク接続されており、リアルタイム通信を行っている。

このサーボネットワークは、すべての制御機器の制御演算周期の基準となっており、制御システム全体がサーボ周期レベルで完全同期して動作している。これによって制御システム全体をマルチプロセッサ的な一つの制御装置として扱うことができ、モーションコントローラに演算負荷が集中することの多い並列駆動機構用の非干渉化演算を伴う制御システムを構築する場合においても、制御演算の分散処理を可能としている。さらに制御演算を機能単位に分割することで、処理の一部をソフトウェア処理からFPGAを用いたハードウェア処理に置き換えており、さらなる高性能化を図っている。

図3に、サーフェス型ステージのX, Y, YAW制御の演算処理と実装機器を示す。制御演算のうち、外乱オブザーバなど複雑な演算処理はモーションコントローラで処理する一方、サーボ剛性を高めるのに重要なY軸の速度制御演算は、サーボドライバで高速処理している。また、制御演算の非干渉化に向けて、レーザ干渉計の計測値は測長ユニットで各制御軸に対応した値へ換算するとともに、サーボドライバの内部にはYAW制御に対する推力加算処理を実装している。

4 調整, 試運転機能

精密ステージは、機械性能を引き出すべくサーボ調整が特に重要視され、制御システムには調整支援機能の充実が求められる。本制御システムは、EtherNETを介してモーションコントロールユニットと接続したパソコンを用い、各種制御数値のモニタリング、ロギングおよびパラメータの変更や試

運転操作を行うことができる。調整支援機能の特長は、モニタリングやロギングできる制御数値の種類の高さと高速な収集にあり、ほとんどの動作確認と調整を完結させることができる。

図4および図5に、モニタ画面の例を示す。モーションコントロールユニットには、サーボネットワークを介して各制御機器の制御情報が集約されている。たとえばリニアスケールの出力信号のリサージュ波形や、サーボドライバの電流指令値などもパソコンでモニタリングすることができる。なお、データはモーションコントローラの演算処理周期でサンプリングが可能で、汎用表計算ソフトウェアを使って表示や編集も可能である。

図6に、試運転用の簡易操作画面例を示す。操作画面は、各種の精密ステージに対応すべく変更が可能で、専用のエディタを使って、軸数や表示内容の変更が可能となっている。

5 おわりに

- (1) 独自のサーボネットワークを用いて各制御機器を同期動作させるステージ用モーション制御システムを開発した。
- (2) 制御演算の分散処理により、多軸非干渉化制御の高速処理を可能とした。
- (3) 制御システム全体の詳細な監視と操作を可能とする調整および試運転機能を構築した。

今後も、機械性能を引き出す特長を持つ制御システムを開発および供給していくことで、対象装置の付加価値向上に貢献していく所存である。

QuaPro-R 新型リーチフォークリフト

QuaPro-R New Reach Fork Lift Truck

● 日 南 敦 史*
Atsushi HINAMI



QuaPro-R

1 はじめに

近年、環境意識の高まりや、企業の社会的責任の観点から、省エネルギーは経営課題としてその重要度を増している。住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社の主要顧客である、流通業および倉庫業においても省エネルギー・省スペース化への要望は高い。市場全体の85~90%を占める小型フォークリフトのカテゴリでは特にその要望が強く、このカテゴリにおいて、かねてより強みを持つリーチフォークリフトを根本的に見直し、より少ない消費エネルギーかつ小さなスペース、さらにはフォークリフトのライフサイクル価値の向上を達成すべく、開発を行った。

新型リーチフォークリフトを2012年4月よりQuaPro-Rとして販売したので、その抜群の小回り性能および卓越したエコロジー性について報告する。

2 抜群の省エネルギー性能

2.1 5つの効率化で省エネルギーを達成

QuaPro-Rは次に示す効率化により、従来機種比25%(1.5ton車280Ahバッテリー)もの省エネルギーを達成している(図1)。

(1) ドライブモータへのIPM(Interior Permanent Magnet)モータ採用および走行制御の最適化

電気自動車やハイブリッド自動車などに採用されているIPMモータをリーチフォークリフトとして初めて採用し、走行時の電力消費を格段に向上させた。

(2) 旋回制御の採用

急旋回を監視し、旋回中の車速を抑制することで、旋

回による電力ロスを削減した。また、これにより安全な荷役走行を実現した。

(3) 加速制御の最適化

一般にフォークリフトでは、荷物を扱う際の極低速での微妙な車両操作(インチング)と、加速のスムーズな立ち上がりの両立が重要である。QuaPro-Rでは、アクセルに低速から高速まで滑らかに変化させる特性を持たせた。これにより、従来機種では難しかった5~6km/h付近での一定走行とインチングを両立させた。スムーズな加速制御により操作性を向上させつつ、電力消費を抑えた。

(4) 荷役 ACモータ採用

荷役モータをDCからACに変更して、メンテナンス頻度の低減ならびに省エネルギーを実現している。さらに、荷役作業(フォークの上下動など)においても、走行と同様にインチングのスムーズさの向上を図り、省エネルギーに貢献している。具体的にはリフト操作の低速領域を広げ、微妙な操作をしやすい特性に変更し、モータ起動時の制御を最適化することでレスポンスの良さやインチングの容易さを両立させた。

(5) 油機効率の向上

油圧配管および機器による圧力損失を極限まで削減することで荷役モータの発生させた動力を無駄なく荷物に伝達し、電力消費を抑えた。

2.2 省エネルギーがもたらす4つの価値

2.1の省エネルギー性により次の価値を顧客に提供できる。

(1) 電力費 19000円/年低減

稼働日 260日/年、電力 単価20円/kWhとし、従来機種と同様の作業量をこなした場合、年間19000円もの電力費を削減できる。

(2) CO₂排出量 年間371kg 削減

従来機種と同じ条件下でCO₂排出量を換算したところ、年間-371kgと業界トップの低環境負荷性を実現した。なお、計算には、環境省平成22年度電気事業者別排出数による東京電力のCO₂変換係数を利用した。

(3) 稼働時間 一日当たり約3時間延長

JIS D 6202:2011作業パターン(稼働率55%)における稼働時間は10.1時間であり、従来機種比約3時間の延長を達成した。このことから、突発作業などによる延長業務を、同じ車両で賄える可能性が格段に向上した。

(4) バッテリー寿命 34%延長

フォークリフトに採用されている鉛バッテリーは、放電の深さによって寿命が短くなる。QuaPro-Rではその高い省エネルギー性によりバッテリーの負担を減らし、34%のバッテリー寿命の向上が図られている。バッテリーは、廃棄時の環境負荷が高い製品であり、寿命の向上により顧

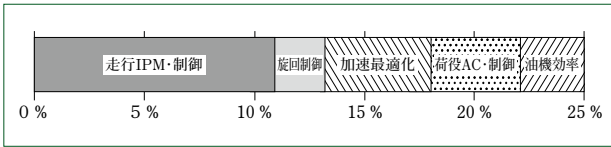


図1 消費電力量低減割合
Breakdown of energy saving

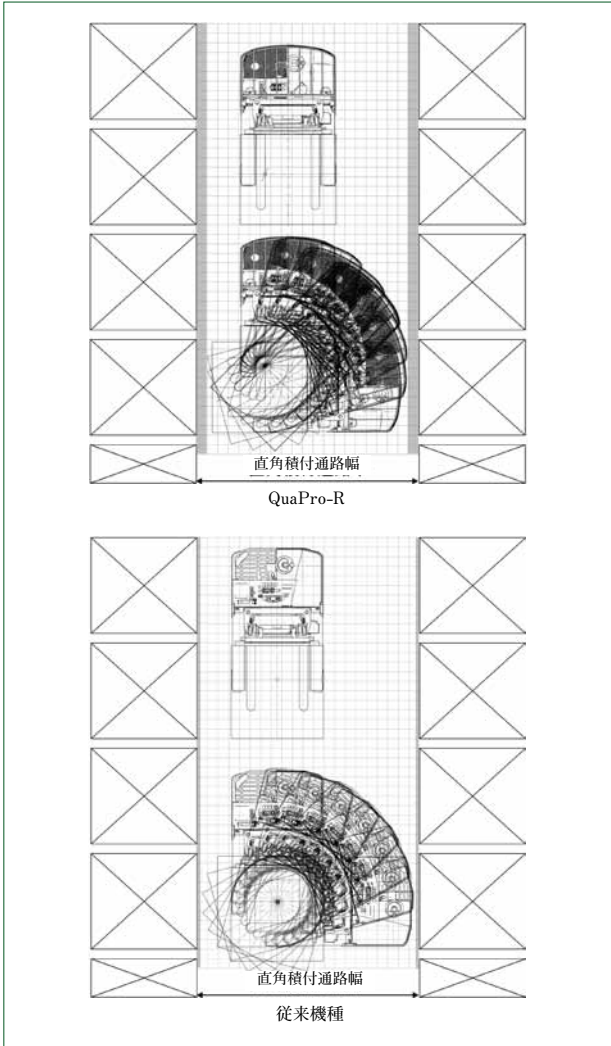


図2 直角積付通路幅イメージ
An image of rightangle stacking aisle width

客におけるコスト負担のみならず、低環境負荷社会実現の一翼を担うことが期待できる。

3 卓越した小回り性能

狭い倉庫内でも効率の良い作業および保管が可能な車両として、直角積付け通路幅の削減に取り組んだ。直角積付け通路幅とは、荷を持った状態で真横を向くのに必要な最小の通路幅で(図2)、フォークリフトにおいて重要な性能の一つである小回り性能を示す。QuaPro-Rでは車両レイアウト、マスト構造および引込み量を全面的に見直し、オペレータ空間を損なうことなく直角積付け通路幅を2540mmとすることで従来機種比-130mm(1.5ton車 260Ahバッテリー)を達成し、業界最小となっている。

また、AWC(Aisle Width Control 小回り制御)の装備により、最適な操作蛇角を自動的に制御でき(図3)、オペレータの技量によらず、最適な積付け旋回操作が可能である。こ

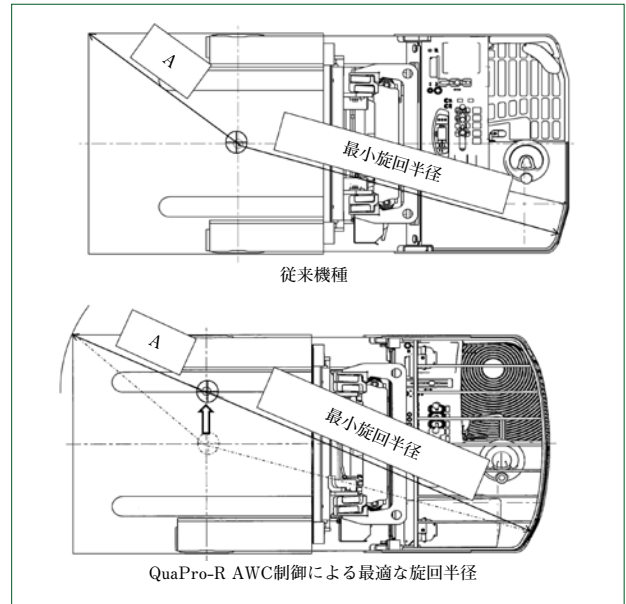


図3 AWC制御イメージ
An image of AWC control

のことから、お客様は、QuaPro-Rの直角積付け通路幅を、実作業に無理なく生かすことが可能である。

この高い小回り性は、次に示す価値をお客様に提供する。

(1) 作業効率 33%アップ

倉庫ラック間においてハンドルの切返し頻度が大幅に削減できることから、当社テストパターンにおける作業時間を33%削減している。

(2) 保管効率 10%アップ

狭い通路でも作業が可能であり、通路幅を狭く設定することができる。つまり、同じ倉庫面積に対し、より多くの荷物を保管することができる。30×16m倉庫における試算では、10列の棚が11列となり10%向上させることが可能である。この際、オペレータ空間を含む運転者への負担は一切増えていないことから、労働環境の悪化を伴わず、物流の効率化が図れる。

(3) 疲労度 20%軽減

同じ通路幅であれば、従来機種と比べ、切返しの手操作量が20%減少し、積卸し作業の疲労が軽減される。

4 おわりに

本報ではQuaPro-Rの2つの特長を従来機種との比較で示し、それに伴う顧客価値の向上について述べた。

(1) 抜群の省エネルギー性能により電力消費量を25%削減した。

- ・電力費 19000円/年低減
- ・CO₂排出量 371kg/年削減
- ・稼働時間 約3h/日延長
- ・バッテリー寿命 34%延長

(2) 卓越した小回り性能により直角積付け通路幅を130mm削減した。

- ・作業効率 33%アップ
- ・保管効率 10%アップ
- ・疲労度 20%軽減

住友重機械技報技術分類総目次

(第171号～第180号 2009年12月～2012年12月)

題 名	号	頁	執 筆
変減速機・インバータ			
誘導電動機の高効率化の動向	177	47	PTC事業部
IE2高効率モータにおける効率向上と国際規格対応	179	31	PTC事業部
タグチメソッドを用いた高効率誘導モータの設計	180	1	PTC事業部
風力発電機用YAW駆動用減速機	180	7	PTC事業部
パラマックス® SCCシリーズ クレーン用減速機	180	9	PTC事業部
FPSO用歯車装置	180	10	PTC事業部
低温仕様 ハイボニック減速機・プレストNEOギヤモータ	180	11	PTC事業部
フォークリフト用誘導電動機	180	12	PTC事業部
超低騒音ブレーキ付き短時間定格ギヤモータ	180	13	PTC事業部
プラスチック加工機械			
Zero-moldingシステムを使用した型内樹脂流動の制御	171	1	プラスチック機械事業部
低型縮力成形における動的型開力の解析技術	171	5	プラスチック機械事業部
Zero-moldingシステム成形法による省エネルギー効果	171	9	プラスチック機械事業部
新溶解理論に基づく新理論可塑化システム	171	13	プラスチック機械事業部
射出成形機の高精度型縮装置	171	17	プラスチック機械事業部
コンパクトな大型全電動射出成形機 CL7000	171	21	プラスチック機械事業部
フィルム成形用空圧式自動偏肉制御Tダイ SMART FLIPPER	171	25	住友重機械モダン株式会社
高精度・高性能異材射出成形機 SE-CIシリーズ	171	29	プラスチック機械事業部
電動型ロータリー横射出成形機 SR100H	171	31	株式会社住重プラテック
薄肉ハイサイクル容器成形機 SE180DUZ-PACK	171	33	プラスチック機械事業部
薄肉導光板成形技術	171	35	プラスチック機械事業部
ハイブリッド式射出成形機 SE-HY	171	37	プラスチック機械事業部
電磁型縮装置のモデリングと制御	173	25	技術本部
プラスチック食品用薄肉容器加飾成形システム	174	17	プラスチック機械事業部
射出成形システムの省エネルギー化技術	177	35	プラスチック機械事業部
全電動射出成形機 SE-EVシリーズ	179	19	プラスチック機械事業部
電子機械			
MINDシステム-先端半導体デバイス歩留まり向上注入技術	173	37	株式会社SEN
CO ₂ レーザを用いた銅箔直接加工に関する熱加工シミュレーション	180	25	技術本部
エネルギー・環境			
食品系排水における嫌気処理技術	174	9	住友重機械エンバイロメント株式会社
省スペース排水処理システム スミスラッジ®	174	15	住友重機械エンバイロメント株式会社
微生物群集解析の開発	174	25	技術本部
小型CFBボイラ開発の完了	177	1	エネルギー環境事業部
CFBボイラ燃焼技術開発	177	5	エネルギー環境事業部
CFB燃焼技術を用いた再生可能燃料の混焼・有効利用について	177	9	エネルギー環境事業部
メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置	177	13	住友重機械エンバイロメント株式会社
テーパーインペラ式攪拌機	177	17	住友重機械エンバイロメント株式会社
DMSO含有排水の膜分離活性汚泥処理	177	23	住友重機械エンバイロメント株式会社
超高速凝集沈殿装置 スミシクナー®の海外向けアプリケーション	179	33	住友重機械エンバイロメント株式会社

題 名	号	頁	執 筆
量子機器・精密機器・極低温装置			
宇宙ステーション搭載SMILES冷却システム	173	1	量子機器事業部
ほう素中性子捕捉療法用がん治療装置	173	7	量子機器事業部
陽子線治療装置用スキヤニング制御システムの開発	176	13	量子機器事業部
高安定度電磁石電源のデジタル制御	176	17	量子機器事業部
RPD法による薄膜系太陽電池向け透明導電膜成膜技術	177	27	量子機器事業部
PET用薬剤製造システム	179	23	量子機器事業部
1W4Kパルスチューブ冷凍機	179	29	精密機器事業部
医療用画像合成技術の開発	180	15	技術本部
制御システム			
磁場・機構・制御連成解析手法の開発	174	29	技術本部
適応ノッチフィルタの開発およびXYステージへの適用	176	7	技術本部
デジタルハードウェア電流制御の開発	176	21	メカトロニクス事業部
M7制御プラットフォームの搬送制御システムへの適用	176	23	メカトロニクス事業部
M7制御プラットフォーム研削盤用CNCへの適用	176	25	メカトロニクス事業部
精密ステージ用モーション制御システム	180	29	メカトロニクス事業部
物流・パーキングシステム			
ビール会社における物流システム	174	5	ロジスティクス&パーキングシステム事業部
食品配送センターにおける物流システム	174	11	ロジスティクス&パーキングシステム事業部
運行管理システム eSNavi	176	27	ロジスティクス&パーキングシステム事業部
鍛圧機械・工作機械			
平面研削盤のびびり解析	173	11	技術本部
砥粒回収マグネットセパレータ ファインマグ	173	17	住友重機械ファインテック株式会社
平面研削盤テーブル駆動の省エネルギー化と振動低減	179	15	技術本部
門形平面研削盤 KSL	179	25	住友重機械ファインテック株式会社
超高磁力型マグネットセパレータの開発	179	27	住友重機械ファインテック株式会社
建設機械・フォークリフト			
カウンタ式電気フォークリフト用バッテリー液自動補水装置	173	39	住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社
構造物における最適化手法の活用	174	33	技術本部
新型低排出ガスディーゼル式フォークリフト FD35-50PXI	174	37	住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社
木造家屋解体機 SH75X-3BKK	174	38	住友建機株式会社
気体検知式 LPG 残量警報	176	33	住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社
LTV運行管理システム	177	45	住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社
フィールドビューモニターシステムの開発 ー映像合成による油圧ショベルの周囲確認支援システムー	179	5	技術本部
新型リーチフォークリフトFBR	179	36	住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社
QuaPro-R 新型リーチフォークリフト	180	31	住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社

題名	号	頁	執筆
その他			
蒸気タービンの高効率化	173	21	新日本造機株式会社
くりこみ群分子動力学法による流れの計算機実験	173	29	技術本部
イオン照射によるパワー半導体特性の改善	173	33	住重試験検査株式会社
電子線照射の食品容器・包装材への適用	174	1	日本電子照射サービス株式会社
多機能抽出装置と殺菌装置NT式熱交換器	174	21	株式会社 イズミフードマシナリ
小惑星探査機「はやぶさ」搭載サンプル採取機構	176	1	量子機器事業部
くりこみ群分子動力学法を用いた高速構造緩和手法	176	29	技術本部
荷電粒子線励起X線分析法(PIXE)による環境大気浮遊粒子状物質の分析サービス	177	31	住重試験検査株式会社
住友重機械グループのCO ₂ 削減活動と環境配慮製品	177	39	総務本部 環境管理
くりこみ群分子動力学法による回転塑性加工シミュレーション	179	1	技術本部
延性破壊シミュレーションによるつり手の限界強度設計法の開発	179	9	技術本部
ガスタービン発電機用高速歯車装置	179	35	株式会社セイサ
先端電池電極評価技術の実際	180	21	技術本部

住友重機械技報第180号発行に当たり

住友重機械技報第180号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導いただいている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力をいただくよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、さらに充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご意見賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い申し上げます。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては、変更がございましたら裏面の用紙にご記入のうえ、FAXでお知らせいただきたくお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2012年12月

〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先) _____ 住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2355	(発信元) _____ 貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.
--	--

住友重機械技報第180号の送付先の確認と読後感などの件

送 付 先 変 更	(旧送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____	➔	(新送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____
----------------------------------	--	----------	--

新 規 送 付 先	新しい部署ができた場合ご記入下さい。 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____ 必要部数 _____ 部
----------------------------------	--

本 号 の 読 後 感 に つ い て	1. 本号で、一番関心を持たれた記事は。 2. 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(○印でご記入下さい。) 1 興味深かった 2 特に興味なし その理由をお聞かせ下さい。
--	---

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

変速機、インバータ

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機、サイクロギヤモータアルタックス、精密制御用サイクロ減速機、コンパワー遊星歯車減速機、[平行軸]パラマックス減速機、ヘリカルパディボックス、プレストギヤモータ、[直交軸]パラマックス減速機、ハイボニック減速機、アステロ直交ギヤヘッド、ベベルパディボックス、ライタックス減速機、HEDCON ウォーム減速機、小形ウォーム減速機 ●変速機：[機械式変速機]バイエル無段変速機、バイエル・サイクロ可変減速機、[電気式変速機]インバータ、インバータ搭載ギヤモータ、サーボドライブ、DCドライブ
サイクロ、アルタックス、コンパワー、パラマックス、パディボックス、ハイボニック減速機、アステロ、ライタックス、HEDCON、バイエルおよびバイエル・サイクロは、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

プラスチック加工機械

●プラスチック加工機械：射出成形機、射出吹込成形機、ディスク成形機、セラミックス成形機 ●フィルム加工機：押出機、フィルム製造装置、ラミネート装置 ●IC 封止プレス ●ガラスプレス ●成形システム・金型：射出成形用金型、PET システム、インジェクションブロー成形システム、インモールドラベリング成形システム

レーザ加工システム

●レーザドリル装置 ●レーザアニーリング装置 ●YAG レーザと加工システム ●エキシマレーザと加工システム

半導体・液晶関連機器

●イオン注入装置 ●成膜装置：(太陽電池、タッチパネル、有機EL用)プラズマ薄膜形成システム ●精密位置決め装置 XY ステージ ●モーションコーポネント ●ライン駆動用制御システム ●マイクロマシン ●レーザアニーリング装置 ●半導体封止装置 ●ウエハ研削装置

環境施設

●環境・エネルギー関連プラント：循環流動層(CFB)ボイラ、ロータリーキルン式産業廃棄物処理施設 ●大気関連プラント：電気集塵装置、灰処理装置、乾式脱硫・脱硝装置 ●水関連プラント：上水処理施設、下水処理施設、浸出水処理施設 ●産業廃水処理装置

加速器、医療機器、精密機器、極低温機器、超電導磁石

●イオン加速器：サイクロトロン、ライナック、シンクロトロン ●電子線照射装置 ●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIS、標識化合物合成装置、陽子線治療システム ●冷凍機：バルスチューブ冷凍機、4KGM 冷凍機、スターリング冷凍機、MRI用冷凍機、クライオポンプ ●人工衛星搭載観測装置冷却システム ●超電導磁石：ヘリウムフリー超電導マグネット CYPRIS は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

物流・パーキングシステム

●自動倉庫システム ●高速自動仕分システム ●FMS/FA システム ●無人搬送システム ●機械式駐車場

金属加工機械

●鍛圧機械：フォーミングプレス、油圧プレス、フォーミングロール、超高压発生装置 ●工作機械、クーラント処理装置 ●SPS(放電プラズマ焼結機)

運搬荷役機械

連続式アンローダ、港湾荷役クレーン(コンテナクレーン、タイヤマウント式ジブクレーン、タイヤマウント式 LLC)、トランスファクレーン、ジブクレーン、ゴライアスクレーン、天井クレーン、製鋼クレーン、自動クレーン、ヤード機器(スタッカ、リクレーマ、スタッカ/リクレーマ)、シップロダ、ベルトコンベアおよびコンベアシステム、リフティングマグネット装置、コークス炉移動機械

船舶海洋

●船舶：油槽船、撒積運搬船、鉾石運搬船、鉾油兼用船、コンテナ船、自動車運搬船、その他海洋構造物

インフラ整備関連

●海洋・港湾構造物：沈埋函、ケーソン

化学機械、プラント

●一般プラント：紙・パルプ製造装置、化学装置、原子力装置 ●発電設備：循環流動層ボイラ ●压力容器：リアクタ、塔、槽、熱交換器 ●攪拌混合システム：マックスブレンド攪拌槽、スーパーブレンド(同心2軸型攪拌槽)、バイボラック(横型2軸反応装置) マックスブレンドおよびバイボラックは、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

建設機械、フォークリフト

油圧式ショベル、移動式環境保全およびリサイクル機械、杭打機、道路舗装機械、フォークリフト

タービン、ポンプ

蒸気タービン、プロセスポンプ

その他

航空用機器、精密鑄造品、防衛装備品(各種機関銃、機関砲およびシステム)

※文章中のソフトウェア等の商標表示は、省略しております。

事業所

本社	〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)	技術研究所	〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地
関西支社	〒530-0005 大阪市北区中之島2丁目3番33号(大阪三井物産ビル)	技術研究所	〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号(田無)
中部支社	〒461-0005 名古屋市東区東桜1丁目10番24号(栄大野ビル)		
九州支社	〒810-0801 福岡市博多区中洲5丁目6番20号(明治安田生命福岡ビル)		
田無製造所	〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号		
千葉製造所	〒263-0001 千葉市稲毛区長沼原町731番1号		
横須賀製造所	〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地		
名古屋製造所	〒474-8501 愛知県大府市朝日町6丁目1番地		
岡山製造所	〒713-8501 岡山県倉敷市玉島乙島新湊8230番地		
愛媛製造所			
新居浜工場	〒792-8588 愛媛県新居浜市惣開町5番2号		
西条工場	〒799-1393 愛媛県西条市今在家1501番地		

本号に関するお問い合わせは、技術本部技報編集事務局(電話番号は下記)宛お願い致します。

住友重機械工業株式会社のホームページ <http://www.shi.co.jp/>

技報編集委員

委員	下園 一治	委員	小松 幹生
	石田 浩修		天野 光昭
	平田 徹		岡林 明伸
	大谷 博之		須田 祐一
	秋山 年春		柴田 憲司
	待井 紀彦		田村 悟
	浅井 一浩		西澤 信也
	川井 浩生		石倉 武久
	諏訪 義和		長坂 勇希
	乃美 和博		井手 紀彦
		事務局	技術本部
		編集協力	(株)千代田プランニング

住友重機械技報

第180号 非売品

2012年12月10日印刷 12月20日発行

発行 住友重機械工業株式会社
〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号
(ThinkPark Tower)

お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2326

発行人 谷口 勝彦



住友重機械工業株式会社
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

Printed in Japan

