

ISSN 0285-9815 CODEN : STEQDU

サンケン技報

Sanken Technical Report

2024.11, vol.56

サンケン技報

- 第 56 巻

	目次				
論文	および資料				
	白物家電用モータドライバIC SIM1シリーズの開発	Ш	島	良	太 山川裕平…1-01
	低ノイズ FRD BlueFRD1の開発	神	林	佑	哉
	ESD 耐性を備えた起動回路用高機能LDMOSの開発	藤	Ħ	直	人
	近赤外発光する蛍光体を用いた特殊LEDの開発	梅	津	陽	介 4-01
	次世代車載用IPD "SIP1シリーズ"の開発	JI		広	明 5-01
	高圧フルブリッジ型LLC電源向け 高効率同期整流コントローラの開発	金 姜		正 韓	烈 伊藤公一…6-01 柱
	スイッチング電源の設計支援ツールの開発	深	石	雄	± 7-01
	画像検査システム「AI-fact」の開発	桶	谷	宗	司 8-01
	スマートファクトリー推進における	Ξ	中	裕	之 9-01

白物家電用モータドライバ IC SIM1 シリーズの開発

Development of the motor driver IC SIM1 series

川島良太* Kawashima Ryota 山川裕平* Yamakawa Yuhei

概要 SIM689xMシリーズは幅広い電流定格をラインナップしており、インバータ化白物家電製品 に用いられている。今後、白物家電製品全般が省エネ化推進のため世界的にインバータ化へ移行し ていくと想定されている。多用途に用いられる本シリーズは、さらに安定供給、品質向上が市場か ら求められている。

新製品SIM1シリーズでは、次世代MICプロセスの採用によるリードタイム短縮化、H side OCP(過 電流保護機能)の追加による二次的な破壊拡大防止、LS(ローサイドパワーIGBTエミッタ)-COM (コモン)間ESD保護素子追加によるセット組立時の静電気破壊リスクの回避をおこない、それら市 場要求に応えた。また、IGBT品の一部定格において、市場用途の駆動条件に合わせて損失特性を最 適化低減し、採用用途の幅を広げた。

1. まえがき

近年,白物家電市場において省エネを実現するイン バータ化技術が進んでおり,それに伴いモータドライバ ICのニーズが拡大している。

当社の既存モータドライバIC製品の中でSIM689xM シリーズは2A~10Aまでの幅広い定格をラインナップ しており、幅広い用途で使用されている。そのため、今 後世界的にモータドライバICの需要が高まっていく中 で、より安定供給が可能なことが求められる。

今後,新たにインバータ化製品が普及していく地域の 中には電源事情が悪く,電源電圧変動による過電圧が発 生する地域もある。過電圧破壊が起こると二次的に破壊 が広がり,音鳴りやパッケージ破裂等の致命的な破壊に つながるリスクがある。二次破壊を防ぐため,上下アー ムのうちどちらかが破壊してももう片方で遮断できるよ うにインバータアームのH sideとL side両方とも遮断で きる構成が望まれる。

インバータ化製品が世界的に普及していく中で,セッ トメーカーの動きとしては量産性確保のため新興国含め た様々な地域に工場を設け組み立てを行うこととなる。 そのため,品質管理が行き届かず静電気で破壊する心配 が伴う。パワー素子のゲートへ直接静電気が印加される 可能性のある端子も含め十分なESD 耐量が必要となる。

また,既存のSIM689xMシリーズはこれまでの開発 経緯においてシュリンクプロセスであるFS-IGBTを採用 したことで,搭載可能なパワーチップの定格をそれまで の5Aから10Aまでに拡張してきた。しかしながら,本 シリーズは10A品としては一般的なダウンセット構造で はないため放熱性が不足する。本シリーズの主用途であ る洗濯機では,高周波化が求められる。そのため,この 10A品では許容損失の制限から駆動モータの電流が少な い一部の小容量モデルの採用に限定されてきた。電流定 格の観点からみると,損失特性の最適化を行うことで, この10A品でより大きい容量モデルへの展開を実現でき ると考える。

これらの課題を解決するために同一パッケージの後継 品SIM1シリーズ(図1)を開発した。

Mold Dimensions: 36.0 mm × 14.8 mm × 4.0 mm

DIP40



図 1 SIM1 Package (Full Mold)

*技術開発本部 パワーモジュール開発統括部 IPM 開発部 開発 1 課

2. SIM1シリーズ構成

製品の構造は従来品と同様に、パワーチップ、それを 制御するH side MICとL side MIC、電流整流用ブート ストラップダイオードの4種のチップをリードフレーム上 ヘマウントし、高熱伝導樹脂でモールドしている。パッ ケージサイズも従来品から引き続き、縦14.8mm×横 36.0mm×厚み4.0mmとなる。生産拠点として、MICチッ プはアメリカ、国内の2拠点、パワーチップは国内、海 外合わせて5拠点、組立は国内、中国、韓国の3拠点と複 数備え、災害時等でも安定的に供給できる体制としてい る。図2にSIM1シリーズの内部ブロック図を示す。保護 機能は、従来品と同様のUVLO(電源電圧低下保護機能)、 L side OCP(過電流保護機能)、TSD(サーマルシャットダ ウン)を搭載している。その他に、新たにH side OCPを追



図 2 SIM1 シリーズの内部ブロック図

加した。これにより過電圧でLow sideが破壊したとして もH sideを遮断し、二次破壊を防止することができる。 **表1**にSIM1シリーズの主な仕様を示す。

SIM1シリーズでは,L side OCP仕様は従来品SIM689xM シリーズから変更せずにH side OCP仕様の最適化をはかった。

またSIM1シリーズのL side MICには、高精度の温度 モニタ機能を搭載している。線形性に優れセットメー カーにとって温度制御が容易かつ、温度検出精度±3℃ とチップサーミスタ同等の精度でMIC内温度モニタ機 能を提供する。SIM1シリーズの温度モニタ出力温度特 性を図3に示す。



図3 SIM1シリーズ温度モニタ出力温度特性

表1 SIM1	シリーズの主な仕様
---------	-----------

百日 (Items)	記号		仕 様	値(Specificati	on Value)		単位	条件
項目 (Itelli)	(Symbol)	SIM1-02D2M	SIM1-03A1M	SIM1-05A1M	SIM1-10F1M	SIM1-10F1A	(Unit)	(Conditions)
出力パワー素子	-	SJ-MOS		IG	BT		-	
定格出力耐圧	V _{CES}			600			V	
定格出力電流	Io	2.0	3.0	5.0	10.0	10.0	Α	
IGBT 出 力 飽 和 電 圧 TYP/MAX	V _{CE(SAT)}	-	1.8/2.3	1.75/2.2	1.65/2.1	2.05/2.5	V	Ic=定格出力電流Io
MOSFETオン抵抗 TYP/MAX	$R_{ m ds(on)}$	3.2/3.6	-	-	-	-	Ω	Id= 定格出力電流 Io ÷ 2
絶縁 耐 圧 (MIN)	$V_{\rm ISO}$			1500			Vms	裏面-リード端子間
端子間隔	Р			1.778			mm	
熱抵抗(接合 - ケース間)	R _(J-C)			°C /W	人事了動作			
熱抵抗(接合-周囲間)	R _(J-A)			°C /W	(三条丁期件)			
ブートストラップ電源	$V_{\rm UVHL}$	10.0 ± 1.0					V	
低下電圧保護	$V_{\rm UVHH}$	10.5 ± 1.0						
圳 御 秉 浙 仟 下 倪 講 秉 仄	$V_{\rm UVLL}$	11.0 ± 1.0					V	
削 仰 电 你 Ц 丨 休 禐 电 圧	$V_{\rm UVLH}$	11.5 ± 1.0						
温熱但誰動佐やトバ切込泪度	$T_{ m DH}$			$150^\circ\!\mathrm{C}\pm15^\circ\!\mathrm{C}$			°C	
過怒休葭動作わよし解除価度	$T_{ m DL}$			$120^\circ\!\mathrm{C}\pm15^\circ\!\mathrm{C}$			°C	
H side 過電流保護トリップ電圧	$V_{\rm tripH}$		$0.7\mathrm{V}\pm10\%$					
L side 過電流保護トリップ電圧	V_{tripL}	$0.5V \pm 8\%$					V	
H side 過 電 流 保 護 保 持 時 間 MIN/MAX	$T_{ m ocpH}$			20/25			us	
L side 過電流保護保持時間 MIN/MAX	T_{ocpL}			5/10			us	

3. SIM1シリーズの開発

新製品の開発にあたり,前述の課題を解決するための 主な開発コンセプトは4つある。

1つ目は、高圧ドライバICに最適化された次世代プロセスを採用することでリードタイムを短縮し、安定供給する。併せてワイヤーオプションでの機能変更によるMICの共用化、およびチップ・Assy工場のBCP対応も継続的におこなっていく。

2つ目は、従来品SIM689xMシリーズのL side MICの OCP機能に加え、H side MICにもOCP機能を追加し、上 下OCP動作が可能な構成とする。これにより電源事情 が不安定な地域において、万が一上下アームの片方が過 電圧破壊した後でも必ずもう片方がOCP動作で瞬時に OFFし、致命的な音鳴り破壊やパッケージ破裂破壊等 の二次破壊防止を実現する。

3つ目は、ESD耐量が比較的弱いパワー素子のゲート への静電気印加に結び付くLS端子に対し、MIC内へ設 置したESD保護素子を内部ワイヤリングにて結線し、 保護する構成を取る。これによりセット組立時における 静電気破壊リスクを回避する。

4つ目は、10A定格IGBTにおいて、比較的キャリア 周波数を高く設定する洗濯機用途に絞り、IGBTのプロ セス条件を最適化することで、実用損失の低減を図る。 これにより、主用途である洗濯機にて大容量モデルへの 採用展開を可能とする。

3.1.次世代MICプロセスの採用⁽¹⁾

これまで当社の高耐圧BCDプロセス開発においては 一つのプロセスにて高耐圧ドライバの他,高耐圧スイッ チングレギュレータなどの電源IC用途にも対応可能と することを訴求してきた。素子サイズの縮小や性能向上 を図るためには,オールマイティなプロセスを前提に, 主にデザインルールを縮小化する方向性で開発を進めて きた。

しかしながらIPMに用いられるHVIC(高電圧集積回 路)においては、その恩恵を受けられるCMOSロジック 回路が少なく、あまりメリットにはならない。そこで供 給安定化が望まれるIPM用にターゲットを絞り、エピ タキシャル成長、マスク数、工程数の削減、およびデザ インルールの見直し(拡大)を適用した次世代プロセス を開発した。これにより、リードタイムが短縮され安定 供給化要求を満たすことができた。

表2に現行プロセスと次世代プロセスを比較する形 でプロセス概要および主要搭載デバイスを示す。IPM製 品仕様に合わせCMOSの最大オペレーション耐圧を20V とした。低圧 CMOS Logic の回路規模を鑑みゲート酸化 膜は現行プロセスのデュアル構成から 600 Å のシングル 構成とした。また微細化に必要な CMOSのサイドウォー ル形成工程およびサイリサイド工程を削除した。高耐圧 デバイスの保証電圧も仕様に合わせ 700Vと下げた。

図4には各プロセスの拡散構造の断面概略図を示す。 次世代プロセスではP-sub中に高温長時間の拡散によ りN-Well (NW)領域を形成する。NW拡散層はP-Well (PW)-Psub間パンチスルー防止のため適切な深さに設 定されている。埋め込みN+型拡散層が存在しないこと でエピタキシャル成長および埋め込み工程の削減による リードタイム短縮を実現している。

次世代プロセスは現行プロセスと比較して、ウェーハ 製造の工程数が25%削減され、それにより製造リード タイムおよびウェーハ製造コストが削減された。生産と コストの両面で大幅な改善を実現することができた。

	Element Item	Current	Next-generation
	Design rule	0.25um	0.50um
0	Gate oxide thickness	180 Å /800 Å	600 Å
ces	Embedded Epi	Applied	Not applied
prod	Sidewall	Applied	Not applied
-	Salicide	Applied	Not applied
	Wiring Structure	2Poly/2	Metal
		5V/7V	7V
	CMOS	20V/30V	20V
	NPN	7V/20V/30V	20V/30V
	PNP	7V/20V/40V	なし
/ice	Diode	Var	ious
Dev	Resistance	Var	ious
	Capacitor	Var	ious
	高圧Nch MOS	150V/600V/900V	700V
	高圧Pch MOS	150V/600V	なし
	JFET	900V	700V

表2 現行プロセス、次世代プロセス概要



(a) 現行プロセス (b) 次世代プロセス

3.2. H side OCP機能による二次破壊防止

図5にSIM1の制御端子周辺回路図を示す。SIM1シ リーズではH side ICにもOCP機能およびOCP端子を追 加しており、L sideと同様にOCP端子にシャント抵抗Rs を接続し、H sideのOCP機能を有効にしている。これ により、異常が発生しL sideパワー素子が短絡故障を起 こし、H sideがオンして過大な貫通電流が流れた場合に もH sideパワー素子のゲートを早急に遮断することがで き、二次的にH sideパワー素子が破壊することを防ぐ。



ここで、SIM1の端子数の制約から図5に示すように H sideにはFO(エラー信号出力)端子を設けることはで きなかった。しかしながら、H side OCPが動作する際 には、必ずL side OCPも動作し、FO端子から上位コン トローラへアラーム信号を伝達するようにした。

3.3. 10A定格 IGBT プロセス条件の最適化

従来の10A品SIM6897Mに対し,新製品の10A品 SIM1-10F1MはFS-IGBTプロセス条件見直しにより, スイッチングロスを低減し,比較的高いキャリア周波数 で駆動する洗濯機用途で損失を低減することができた。

図6に示すように、FS-IGBTのサイズUPによるVce (sat)-Eoff(スイッチングOFFロス)のトレードオフ特 性の改善に加え コレクタドーズ量を小さくすることで、 Vce (sat) 上昇を極力抑えつつEoffを大幅に下げている。 なお、コレクタドーズ量を小さくするとスイッチング OFF時のテイル電流が小さくなる (図7参照) ため、Eoff







図7 ターンオフ時の SW 波形比較



図8 IGBTトータル損失と損失内訳

が小さくなる。

図8に示すように、キャリア周波数が高い場合、Eoff 低減に伴うスイッチング損失が減少する。その結果、 IGBTトータル損失は従来品よりも26%も低減すること ができた。これにより、SIMパッケージの放熱性能不足 分を補い、大容量モデル向けへの展開を可能とした。

4. むすび

次世代MICプロセスの採用によるリードタイム短縮 などを行うことで今後のモータドライバICの需要拡大 により求められる安定供給を行うことが可能となった。

また、H side OCP機能の追加による片アームパワー 素子破壊後の二次的破壊拡大防止やLS-COM間ESD保 護素子追加によるセット組立時静電気破壊リスクの回避 を行うことで、従来のSIM689xMシリーズよりも大幅 に品質を向上させることができ、様々な地域で安心して 用いられる製品となった。

さらに、スイッチングロスを低減することにより、比較的キャリア周波数が高い洗濯機用途例においても IGBTプロセス条件の最適化により損失を低減して、 SIM1シリーズは従来品以上にその使用領域を拡大させることができた。

今後,更なる使用領域拡大のため,ダウンセット構造 の採用などによる放熱性改善を検討していく。

参考文献

(1) 青木宏憲; サンケン技報, Vol.55, p.22~25, (2023.11)

低ノイズ FRD BlueFRD1 の開発

Development of BlueFRD1 for Low Noise FRD

神林佑哉* Yuya Kambayashi

概要 効率的な電力活用が求められる昨今のパワーデバイス市場では、幅広い用途で使用される 高速リカバリダイオード (FRD) によるエネルギー損失削減は不可欠である。また、汎用的なアプリ ケーションとして用いるためには低ノイズ性も重要である。当社では、新構造により低ノイズでV_F スイッチングオフ特性の優れる新しいプラットフォームのFRDである BlueFRD1を開発した。

1. まえがき

世界の電力消費量は、産業の発展で今後ますます増加 していく。持続可能な世界の実現に向けて、白物家電、 電気自動車、産業機器といった様々な用途で使用されて いるパワー半導体デバイスは、製品の小型化、高効率化が 求められる。その中でも高速リカバリダイオード (FRD) は高周波整流器、PFC、DC/DCコンバータ、インバータ、 スイッチング電源など広く使用されており、電力の有効 活用への役割は大きい。

FRD はスイッチング動作時における逆回復時間が高 速で、スイッチングオフ時のエネルギー損失が小さくな るのが特徴である。しかしながらスイッチング動作時間 が短いとリンギングによるノイズが発生しやすい。この ノイズは、周辺の回路や機器へも電磁干渉を引き起こす 可能性がある。したがってリンギングが顕著に発生する 場合は、汎用的なアプリケーションとしての実用性が低 くなる。

本稿では低V_Fかつスイッチング動作時のエネルギー 損失を小さくしながら、リカバリ動作時における低ノイ ズ化を両立した FRD を開発したので、報告する。

2. BlueFRD1の特徴

2.1. BlueFRD1とは

今回当社が開発したBlueFRD1とは、当社従来の FRDよりも $V_{\rm F}$ とスイッチングオフ損失 (= $Q_{\rm rr}$)のトレー

*技術開発本部 プロセス技術統括部 先行パワーデバイス開発部 Si デバイス開発課 ドオフ特性,かつスイッチングオフ時のリンギング発生 を改善した新しいプロセスプラットフォームとなる新世 代のFRDである。

2.2. BlueFRD1の特徴

当社従来のFRDと本開発におけるBlueFRD1の構造の模式図を表したものが図1である。



従来構造は基本的な縦型構造のダイオードで,N-層 の基板に対して表面アノード,裏面カソード,Field Stop 層で構成される。一般的にFRDのスイッチングオフ時 のエネルギー損失を改善するにはN-層の薄厚化が有効 である。しかし,N-層を単純に薄厚化することはスイッ チングオフ動作時に未空乏領域が少なくなることを意味 する。したがって,急激なキャリアの枯渇が起きやすく, ハードリカバリによりノイズが発生する懸念がある。こ の問題を解決する方法が,カソードにP層を形成するこ とである。カソードにP層が存在することでスイッチン グオフ動作中にホールが供給され,キャリアの枯渇を軽 減し,ハードリカバリを防ぐ。つまり,N-層の薄厚化 とカソードP層の形成により,低損失かつ,ソフトリカ バリの両立が可能となる。

ただし、カソードにP層を形成すると二次降伏による 耐圧劣化が起きやすい。これはブレークダウン時にカ ソードP層からホールが注入される事で伝導度変調が発 生し,局所的に抵抗値が低下し,電流集中で破壊に至る からである。本開発における BlueFRD1 は表面アクティ ブ領域に深いアノードP層 (Deep P) を形成し、アノー ド拡散層で一番深いDeep P層をブレークポイントにす ることを狙いとする。このDeep P層をアクティブエリ アに複数設けることで、ブレークダウンポイントを分散 させ、電流の局所的な集中による破壊の発生を抑制する。 図2は基本的なダイオード構造とBlueFRD1構造のブ レークダウン電圧における電流密度の模式図である。 BlueFRD1ではブレークダウンポイントがコーナー部か らDeep P層部へと変わる。また、Deep P層と裏面カソー ドP層、N層の位置を合わせることで、二次降伏現象を 起きにくくしている点も本開発における特徴である。 Deep P層の直下にはカソードP層が存在しないように, 表裏面のP層の平面位置を合わせる。これにより、Deep P 層でのブレークダウン時に、カソードP層からホールの 供給を防ぐ。



Cathode BlueFRD1, with Deep P & Cathode P 図 2 ブレークダウンポイント模式図,従来品(上), BlueFRD1(下)

3. BlueFRD1の開発検討内容

3.1. 薄厚ウェーハのプロセス技術

低Qrrのために必要なウェーハ薄厚化は機械的強度低下やウェーハ破損のリスクを伴うため、チップの製造装置や製造プロセスに対して、従来FRDの製造ラインから全体的に見直しをおこなう必要があった。また、裏面カソードにP層を形成するプロセス工程も必要であった。これらを安定的に実現させるプロセスとして当社で実績のある薄厚ウェーハプロセス技術を適用した⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

3.2. BlueFRD1 構造の検討

今回BlueFRD1の開発品ではエアコンPFC用途の定 格として650V,50Aを目標指標とした。先に述べた BlueFRD1構造の特徴の一つがDeep P層をカソードN+層 と重ねるように形成することである。このDeep P層の 深さについてシミュレーションにて検証した結果を図3 に示す。



通常の静耐圧を一次降伏のV_{B1},二次降伏が発生する 電圧をV_{B2}とする。Deep P層が深いとアノードとカソー ドの距離が近づき,ドリフトN-層が薄くなるため,一 次降伏電圧V_{B1}は小さくなる。しかしDeep Pが深い場 合は設計狙い通りに二次降伏電圧を大きくすることが可 能である。この理由は図4のDeep Pの深さにおけるホー ル電流密度のシミュレーション結果から説明される。表 面がアノードのみの従来のダイオード構造において,ブ レークダウン時のホール電流密度はある深さにおける横 方向ではどの場所でも等しい。ブレークダウン時,電子 はカソード側へと移動する。カソードP層領域の上部で は,障壁の低いカソードN層へ向かって電子が横方向移 動する。この横方向移動による電圧降下が障壁を上回る と、PN 接合がオンになりホール注入され、二次降伏が 起こりやすくなる。一方 Deep P層が深く存在するほど、 Deep Pに電流が集中するため、直下のカソードNに電 子は多く流れ込む。よって、カソードP層からのホール 注入を抑えられる。結果、二次降伏電圧を高くすること ができる。



4. BlueFRD1の開発評価

4.1. BlueFRD1のブレークダウン破壊評価

2章においてBlueFRD1は二次降伏を起こしづらくす ることが特徴と述べた。しかしブレークダウン電流を増 加していき,二次降伏電圧を正確にモニタすることは難 しい。そのためUnclamped Inductive Switching (UIS) 試験においてアバランシェ耐量が向上するかを確認し た(図5)。試験評価サンプルはBlueFRD1開発品と BlueFRD1と同じチップサイズ,チップ厚でカソードが N層のみでDeep P層有り,無しの構造を用意した。 Deep P層なし,かつカソードがN層のみの基本的なダ イオード構造の評価サンプル②の耐量を1としたとき, BlueFRD1構造の評価サンプル①では耐量が約2.8倍に 増加した。一方,Deep P層ありでカソードNのみのサ ンプル③では約1.5倍の増加に留まった。Deep P層を形 成するだけではなくカソードのP層と位置を合わせるこ とが,アバランシェ耐量の向上に効果的である。



4.2. BlueFRD1 スイッチングオフ特性

本開発品 Blue FRD1 と従来品の $V_{\rm F}$ - $Q_{\rm rr}$ トレードオフ特性を図6に、スイッチングオフ波形を図7に示す。

RRSOA (Reverse Recovery Safe Operating Area) 試験に てスイッチングオフ特性を取得した条件は、ハイサイド に650V定格IGBTを使用、コレクターエミッタ間電圧 $V_{CE} = 400V$ 、コレクタ電流 $I_C = 50A$ 、ゲート電圧 $V_{GE} =$ +15V/0V、温度Ta = 25℃である。

図 6 から、BlueFRD1 は従来製品よりも V_F - Q_{rr} トレードカーブが数値の小さい方へ改善したことがわかる。つまり、スイッチングオフ時のエネルギー損失が軽減された。また、リカバリ動作時に従来製品で表れていたリンギングは、BlueFRD1 では減少したことが図 7 から確認できた。







5. むすび

ウェーハの薄厚化かつ表裏面の拡散層の構造を最適 化することで、従来製品よりもスイッチング動作時の エネルギー損失が小さく、かつ低ノイズ性を両立した BlueFRD1を開発した。

現在, BlueFRD1の製品開発を進行中である。より一層の低V_Fや高耐量などが求められるアプリケーション

に合致するよう,新世代のFRDの技術開発を進める。 そして市場の要求に応えることを通して,持続可能な世 界の実現に向けて貢献する。

参考文献

(1) 石井:サンケン技報, vol.52, p.17-20, (2020.11)
 (2) 松田:サンケン技報, vol.53, p.50-53, (2021.11)
 (3) 染矢:サンケン技報, vol.55, p.18-21, (2023.11)

ESD 耐性を備えた起動回路用高機能 LDMOS の開発

Development of Novel LDMOS with ESD Robustness for Start-up Circuit

藤田直人* Naoto Fujita

概要 高耐圧電源ICの起動回路用LDMOS (Lateral Double-diffused MOSFET) において, ESD保 護素子機能を素子内に統合することで,チップ面積の増加を最小限に抑えながら,高いESD耐量を 有する新たなLDMOSを開発した。このLDMOSは,製品端子であるStart-up端子に接続されるため, 製品のESD耐性の強化につながり,より安全で信頼性の高い高耐圧電源IC製品の実現に大きく寄与 する。本稿では,今回開発した二つの新しい構造(デュアルゾーン型とリングゾーン型)の起動回路 用高機能LDMOSについて,それぞれの特徴と利点を報告する。

1. まえがき

当社は,1200Vまでの高耐圧電源ICを取り揃えており, さまざまな産業アプリケーションに対応できる製品ライ ンナップを展開している。また,製品の小型化が求めら れる中で,起動回路を内蔵することで電源回路の小型化 を実現している。

この起動回路には、高耐圧Nch LDMOSとJFETを一 体化した起動素子(以下,起動回路用LDMOS)を使用 しており、そのドレイン電極がStart-up端子に接続され ている。このStart-up端子は、製品端子として引き出さ れるため、Start-up端子のESD(静電気放電)に対する 耐性を高めることは、より安全かつ信頼性の高い製品を 提供することにつながる。

一般的に、ESDに対する耐性を高めるには、専用の ESD保護素子を導入する方法が用いられる。しかし、 高耐圧電源ICでは、そのESD保護素子自体も高耐圧特 性を保持する必要があるため、大きな素子専有面積が追 加で必要となり、それによるチップ面積の増加・コスト の増加が課題であった。

そこで今回,Start-up端子に接続される起動回路用 LDMOSに着目し,LDMOS自体にESD保護素子機能を 付加することによって,チップ面積を増大させることな く,高耐量を実現する新構造を開発したので、ここに概 要を報告する。

2. 起動回路用高機能LDMOS

2.1. 開発のコンセプト

本開発では、LDMOS領域内にESD保護領域を形成する ことでESD保護素子機能を内蔵し、起動回路用LDMOS 自体を高耐量化させることを目指した。ESD保護領域 には寄生NPN動作促進構造を採用し、LDMOSと並列 に設けられている。図1にその等価回路を示す。これ により、ESDが発生した場合、ブレイクダウン直後にESD 保護領域で優先的に寄生NPN動作促進構造がオンし、 GNDへ放電を行うことで、LDMOSおよび内部回路を破 壊から保護することが可能となる。

今回,このESD保護領域の配置方法に基づき,デュア ルゾーン型とリングゾーン型の2種類の構造を開発した。



*技術開発本部 プロセス技術統括部 IC デバイス開発部 IC プロセス開発課

2.2. 従来型

まず始めに、今回の開発のベースとなっている起動回 路用LDMOSの従来型構造について説明する。図2に従 来型構造の素子概略図を示す。先述の通り、本素子は高 耐圧Nch LDMOSとJFETを一体化した素子であり、 LDMOS領域が全周に渡ってリング状に形成され、JFET 領域がさらに外側の一部の領域に形成された構造となっ ている。



図2 従来型の LDMOS 素子概略図

図3にLDMOS領域およびJFET領域の断面構造図を 示す。LDMOSは、ドレインドリフト層にリサーフ構造 とリサーフ表面電位の安定化に寄与するフィールドプ レート構造MFFP (Multiple Floating Field Plate)を採用 し、高耐圧特性を実現している。また、JFETは、P型 基板内にドレインドリフト層から伸長されたN型層を形 成し、ドレイン電圧の上昇に伴ってPN 接合面からN型 層内部に延びる空乏層によりピンチオフさせる構成と なっている。

なお、今回の開発はLDMOS領域に対する構造開発の ため、以下、LDMOS領域にのみ焦点を当てて述べる。





2.3. デュアルゾーン型

図4にデュアルゾーン型構造の素子概略図を示す。従 来型構造では全周がLDMOS領域となっていたが、デュ アルゾーン型構造ではLDMOS領域を二分する。一方を LDMOSとして、他方をESD保護領域として利用した構 造となっている。ドレインは共通しており、LDMOSの ドリフト層および低圧側電極と、ESD保護領域のドリ フト層およびアノード電極が分離されている。LDMOS の素子面積は図2の従来型構造と同じである。



図4 デュアルゾーン型の LDMOS 素子概略図

図5にESD保護領域の断面構造図を示す。ESD保護 領域は、配線を除きLDMOSと同じ構造を採用している。 低圧側全端子をアノード電極としてショートし、GND に接続することで、寄生NPN動作促進構造を形成して いる。つまり、プロセスの追加なくESD保護領域の形 成が可能である。

また、LDMOS領域とESD保護領域との間の分離部は、 LDMOSのボディ層と寄生NPN動作促進構造のベース 層の間でリーク電流が発生しないよう、ボディー基板間 の定格電圧に従って距離を設計している。

評価の結果,JEITA規格クラス2の2kVを十分に上回るESD(HBM)耐量を確認した。デュアルゾーン型によって,素子面積を増加させることなく,高耐量化が可能となった。



図 5 デュアルゾーン型 LDMOS の ESD 保護領域の断面概略図

2.4. リングゾーン型

図 6 (a) にリングゾーン型構造, (b) にデュアルゾーン 型の変形構造の素子概略図を示す。デュアルゾーン型構 造では, 先述のように高耐量化に成功したが, 一部を ESD 保護領域に使用してしまうため, 従来型構造より は電流能力が減少してしまう。つまり, 電流を多く必要 とする起動回路には対応できない。もし従来型と同等の 電流能力を得るために,デュアルゾーン型でLDMOSの ゲート幅を伸長させると,図6(b)のように,素子面積 は80%以上増加し,大きなチップ専有面積が必要となる。

そこで、図6(a)のように、ESD保護領域を内側に配置し、同心円状にLDMOS領域とESD保護領域を形成 するリングゾーン型を開発した。LDMOS領域とESD保 護領域でドリフト層を共有することで、LDMOSは従来 型と同様に素子全周を使って電流を流すことができるた め、同等の電流能力を得られる。



図6 リングゾーン型とデュアルゾーン型変形の LDMOS 素子構造概略図

図7にリングゾーン型構造の断面構造図を示す。デュ アルゾーン型と同様,配線以外はLDMOSと同じ構造で ESD保護領域を形成している。高耐圧特性を確保する ため、ドレインとESD保護領域のアノード間の距離を従 来型と同距離に設計している。LDMOSの低圧側電極は、 分離部を経て、外側に配置される。LDMOS領域とESD 保護領域との間の分離部は、LDMOSボディー基板間の 定格電圧およびLDMOSチャネルへ流れ込む電流経路を 狭窄し電流が減少しない距離に設計している。これによ り、従来型と比較して素子面積は増加するものの、その 増加量は20%に留めることができ、デュアルゾーン型 の増加量80%と比較して大幅な面積縮小が可能である。

評価の結果, デュアルゾーン型と同様, 2kVを十分に 上回る ESD (HBM) 耐量を確認した。また, 図8のV-I 特性が示すように,従来型と同等の電流能力を確認し た。リングゾーン型によって,素子面積の増加を最小限 に抑制しつつ,高耐量化と電流能力維持の両立が可能と なった。



3. むすび

起動回路用LDMOSにESD保護領域を統合し,高い ESD耐量を有する新しい高機能LDMOSを開発した。 デュアルゾーン型で素子面積を増加することなく起動素 子自体の高耐量化を実現した。さらに,デュアルゾーン 型の課題である電流能力の低下に対して,リングゾーン 型で高耐量と電流能力を維持しつつ,素子面積増加を最 小限に抑える構造を実現した。今後,本起動回路用 LDMOSを用い,高耐圧電源ICなど,より安全かつ信頼 性の高い製品を提供していく。

近赤外発光する蛍光体を用いた特殊 LED の開発

Development of special LEDs using near-infrared light

梅 津 陽 介* Umetsu Yousuke

概要 近赤外光は人間の眼に見えにくいため,照明やディスプレイでは不要とされてきた。 しかし,植物育成や分光分析の分野では重要な光であり,LEDを用いた検討がされている。 今回,近赤外発光する蛍光体を用いて様々なLEDを開発したので報告する。

1. まえがき

白色LEDは、青色LEDの開発の功績であるとともに、 蛍光体開発の功績でもある。可視光領域においては、緑 色~赤色発光する蛍光体を用いて発光スペクトルを制御 することで、照明やバックライトに適した白色LEDが 開発されてきた。特に、一般照明用の白色LEDは2011 年の東日本大震災を契機に急速な普及が進み、発光効率 は理論限界に近いところまで到達した。

しかし,視点を近赤外領域に移すと,まだ既存ランプのLED化が遅れている分野が散見される。

近赤外発光するLEDを応用した例としては、AV機器 のリモコンや自動ドアの開閉などのセンシングがあり、 840nmや940nm付近に発光するLEDが用いられる。こ れらの用途においては発光半値幅の狭いLEDが使いや すいが、一方で近赤外領域に幅広い発光を持つ光源が必 要とされている。

OCT (光干渉断層撮影) は非破壊で高速,高分解能な 観察ができることから,緑内障などの眼科診療に用いら れている。近赤外領域に幅広い発光スペクトルを有する 光源が必要であり,青色LEDと近赤外発光する蛍光体 を用いた検討がなされている¹⁾。

近赤外分光法は、O-H, C-N, C-Hなどの官能基の光 吸収を観測し、様々な成分分析ができることから、果実 の糖度選別や黒毛和牛肉のブランド化など幅広く実用さ れている²⁾。近赤外分光法では、700~2500nmに幅広 い発光スペクトルを有する光源が必要であり、650nm~

*技術開発本部 パワーデバイス開発統括部 オプト技術部 LED 開発課 1400nmの幅広い近赤外発光を示す蛍光体が報告されている³⁾。

近赤外発光する蛍光体とLEDの特性と発光スペクト ルを表1と図1に示す。LEDの発光半値幅が50nm以下 の狭帯であるのに対し、蛍光体の発光半値幅は80nm以 上で幅広いことがわかる。

また,近赤外LEDは温度上昇による発光強度の出力 の低下は小さいが(図2),発光スペクトルの変化が大

表1 近赤外発光する蛍光体と LED の特性

			==	
	略称	化学組成式	発光ピーク波長	発光半値幅
	CASN	CaAlSiN₃:Eu	650nm	90nm
龙水井	YGG	Y ₃ Ga ₅ O ₁₂ :Cr ⁴⁾	711nm	80nm
光儿冲	SBO	ScBO ₃ :Cr 5)	811nm	138nm
	CCSO	CaCuSi ₄ O ₁₀ ⁶⁾	成式 発光ピーク波長 発光半値輛 N3:Eu 650nm 90nm 12:Cr ⁴⁾ 711nm 80nm :Cr ⁵⁾ 811nm 138nm i ₄ O ₁₀ ⁶⁾ 921nm 109nm a)As 840nm 40nm	109nm
LED	AlGaAs	(Al,Ga)As	840nm	40nm
LED	GaAs	GaAs	936nm	48nm



サンケン技報 vol. 56 (2024)



きいことが課題である(図3)。

蛍光体は結晶母体と賦活剤と呼ばれる添加物によって 構成されるものが多く、賦活剤の量によって温度上昇に よる発光強度の低下を改善できることが知られている⁷⁰。 また、CASN蛍光体のように温度上昇による発光スペク トルの変化が小さい蛍光体もある(図3)。

以上のことから、ブロードな発光スペクトルを有し温 度特性の優れた蛍光体を用い特殊なLEDを開発した。

2. 植物育成用 LED

古くから植物育成用の蛍光ランプには、740nm付近に 発光するLiAlO₂:Fe蛍光体が使われている⁸⁾。しかし、 LiAlO₂:Fe蛍光体は青色光では励起,発光できず,青色 LEDと組み合わせた応用はできない。

(Ba,Sr,Ca)₃MgSi₂O₈:Eu,Mn系蛍光体は可視光で励起 でき深い赤色発光することが知られている⁷⁾。Eu²⁺から の青色発光とMn²⁺からの赤色発光は、葉緑素(クロロ フィル)の光合成感度曲線と十分重なることから、植物 育成用として期待されている⁹⁾。

また,フィトクロムの光吸収が650nm,730nm付近に あることから,深い赤色光を増やした植物育成用LED も開発されている¹⁰⁾。



図4 LiAIO2:Fe 蛍光体の発光スペクトルと励起スペクトル



図5 Ca₃MgSi₂O₈:Eu,Mn 蛍光体の発光スペクトルと励起スペクトル

一方で,800nmよりも長波長の光は太陽光には十分に 含まれているが,蛍光灯や白色LEDのような人工光に は含まれていない。

前述の近赤外分光法では、分子の結合の吸収バンドを 利用する。O-Hの伸縮振動に帰属される吸収バンドが 970nm付近に、C-Hの伸縮振動に帰属される吸収バンド が920nm付近にある¹¹⁾。そのため、水分子やショ糖分 子がこれらの近赤外光の光吸収を起こすと考えられる。 水分子やショ糖分子を振動させることで、植物内の栄養 素が活発に循環し、成長が促進されるのではないかと期 待できる。

今回,920nm~970nmの近赤外領域に着目したが, 前述のとおり近赤外LED (GaAs)では温度上昇によって 発光が長波長シフトするため,920nm付近の発光が減少 する。そのため,近赤外発光する蛍光体を用いた特殊な 植物育成用LEDを開発した。

920nm~970nmの近赤外光を得るために表1のCCSO 蛍光体を用いた。CCSO 蛍光体は600nm付近に強い励起 帯があるが,青色光では励起できない。CCSO 蛍光体か ら近赤外光を得るためには,赤色LED で励起すること が真っ先に考えられるが、図2,3に示すように現在主流のAlInGaP系の赤色LEDは温度特性が悪く、光出力の低下と発光スペクトルの変化が起きる。



そのため, 青色LEDで (Sr,Ca)AlSiN₃:Eu (SCASN) 赤 色蛍光体を励起し, その赤色発光でCCSO 近赤外蛍光体 を発光させることを試みた。

比較として赤色LEDとCCSO 蛍光体を組み合わせた LED(赤色LED励起方式)の発光スペクトルと,開発し た青色LEDとSCASN 蛍光体とCCSO 蛍光体を組み合わ せたLED(青色LED励起方式)の発光スペクトルを以下 に示す。



近赤外光は人間の眼では見えないため,発光効率の比 較には電力変換効率(Wall Plug Efficiency: *WPE*)を用 いた。*WPE*は以下の式であらわされる。

WPE(%) = (光出力W) / (投入電力W)= (光出力W) / {(電流A) × (電圧V)}

LEDの光出力測定は, Instrument Systems 社の分光器

CAS-140を用いたため、WPEの計算は380nm~1042nm の総和($\Sigma_{380\cdot1042}$)で計算した。なお、可視光の光出力は 380nm~780nmの総和($\Sigma_{380\cdot780}$)とし、近赤外光は781nm ~1042nmの総和($\Sigma_{781\cdot1042}$)とし、得られた結果を表2に 示す。

表 2 植物育成用 LED の特性

	電流 [mA]	電圧 [V]	投入電力 [W]	Σ 380-780 [mW]	$\begin{array}{c} \Sigma \end{array} _{781\text{-}1042} \\ [mW] \end{array}$	Σ 380-1042 [mW]	WPE [%]
赤色 LED 励起方式	65.0	2.15	0.14	5.2	14.8	20.0	14
青色 LED 励起方式	65.0	2.75	0.18	13.3	25.4	38.7	22

赤色LED励起方式よりも,青色LED励起方式の方が 近赤外発光 (Σ₇₈₁₋₁₀₄₂)の光出力が高く,*WPE* も高い結果 が得られた。

また,近赤外光(Σ₇₈₁₋₁₀₄₂)をモニターした温度特性の グラフを図8に示す。青色LED励起方式の方が高温に おいても光出力の低下が少ない。



以上のことから,強い近赤外発光が得られ,高温でも 出力低下の少ない青色LED励起方式が優れることが分 かった¹²⁾。

なお,920nm~970nm付近の近赤外光が植物育成に どのような影響を及ぼすかは分かっていないが,光合成 に必要な青色と赤色の成分を含むため,植物育成用 LEDとして実証実験に期待したい。

3. ハロゲンランプ代替え用 LED

分光光度計用の光源には、200nm~1000nmの幅広い 領域に発光する光源が使用されている。図4,5の蛍光 体測定に用いた日本分光㈱製の分光光度計FP-6500は、 標準光源に150Wのキセノンランプと350nm~900nmの 値付けされた20Wのハロゲンランプが用いられ、220nm ~900nmの波長範囲で測定が可能である。キセノンラ ンプは累積点灯時間が1000時間を超えると発光が安定

1.2

せず、それよりも短い期間での使用が推奨される。

分光分析用の光源は、ランプ交換を行うたびに装置の 補正や検量線の取り直しが必要である。また、小型化や 省電力化、熱線が不要などの理由もあり、LED化が望 まれている。

使用用途によって必要な発光スペクトルが異なるが, 220~350nmの紫外線領域はLEDの発光効率が弱いた め,今回のターゲットは360nm~1000nmの波長領域と し,ハロゲンランプ代替え用LEDとしてタイプ①~③ の3つのLEDを開発した。

タイプ①~③に使用したLEDと蛍光体の詳細を表3, 表4に示す。演色評価数が高い超高演色LED¹³⁾とハロ ゲンランプとを比較した発光スペクトルを図9に示す。

	紫外	領域	Ц	J視光領J	或	近赤外領域					
タイプ ①	-	-	青色 LED	蛍光体 A	蛍光体 B	蛍光体 C	-	-			
タイプ ②	-	-	青色 LED	蛍光体 A	蛍光体 B	蛍光体 C	蛍光体 D	蛍光体 E			
タイプ ③	UV- LED	蛍光体 F	青色 LED	蛍光体 A	蛍光体 B	蛍光体 C	蛍光体 D	蛍光体 E			

表3 ハロゲンランプ代替え用 LED の構成

表 4 使用した LED と蛍光

	化学組成式	発光ピーク波長	
UV-LED	InGaN	363nm	些从頌ば
蛍光体 F	$(Sr,Mg)_2P_2O_7:Eu^{2+}$	397nm	
青色 LED	InGaN	435nm	
蛍光体 A	Lu ₃ (Al,Ga) ₅ O ₁₂ :Ce ³⁺	486nm	可視光領域
蛍光体 B	(Sr,Ca)AlSiN ₃ :Eu ²⁺	642nm	
蛍光体 C	ScBO ₃ :Cr ³⁺	810nm	
蛍光体 D	Y ₃ Ga ₅ O ₁₂ :Cr ³⁺ , Nd ³⁺	878nm, 1067nm	近赤外領域
蛍光体 E	Y ₃ Ga ₅ O ₁₂ :Cr ³⁺ , Yb ³⁺	1030nm	

表5 ハロゲンランプ代替え用 LED (タイプ①, ②)の WPE

	電流 [mA]	電圧 [V]	投入電力 [W]	Σ 380-780 [mW]	Σ 781-1042 [mW]	Σ 380-1042 [mW]	WPE [%]
超高演色 LED	32.5	5.45	0.18	91.0	0.4	91.4	51
タイプ①	65.0	2.85	0.19	42.5	9.5	52.0	28
タイプ②	65.0	2.85	0.19	26.2	14.1	40.3	22

蛍光体Dと蛍光体Eに起因する850nm以上の鋭い発 光は、希土類イオンNd³⁺とYb³⁺の4f-4f遷移によるもの であり、4f内殻遷移のため発光波長の変化は図3の近 赤外LEDに比べると極めて小さい。

また、図10に示すように蛍光体DはNd³⁺による1067nm 付近に鋭い発光があるが、光出力の測定に用いた測定器 の仕様により1042nmより長波長の光出力は測定できな い。そのため、1042nmよりも長波長の発光(光出力)を 考慮すると、表5のタイプ②のWPEはそれ以上に高い。





図 10 蛍光体 D と蛍光体 E の発光スペクトル

図9の発光スペクトルに凹んでいる箇所があるが,ター ゲットとしている波長領域の主ピークに対して10%以 上の発光強度がある¹⁴⁾。蛍光体の種類や量によって発光 スペクトルの調整が可能であり,ニーズに対応したLED を作ることができる。分光分析用として期待したい。

4. 車体塗装検査用, 舞台照明用 LED

太陽光には近赤外光が多く含まれるが、人工光である 蛍光ランプや白色LEDでは、発光効率を高めるために 視感度の悪い赤色から近赤外光を減らすような試みが重 ねられた^{15,16,17)}。

また,自動車の車体の塗装面においては人工光で照ら されたボディーカラーと太陽光で照らされたボディーカ ラーに違いがあり,LED化が進んでいない。

波長の短い近赤外光(遠赤色)は、視感度は悪いもの の人間の顔色、表情を映し出すために必要な光である。 舞台照明でハロゲンランプが根強く使われているのは、 表情をリアルに映し出すためと考えられる。

今回,車体塗装検査用,舞台照明用のLEDとして近 赤外光(遠赤色)を強調したLEDを開発した。蛍光体は, 表1に示す発光ピーク波長711nmのYGG蛍光体を用い た。



図 11 車体塗装検査用,舞台照明用 LED の演色評価数

前述したハロゲン代替え用LEDとは違い,照明用の 光源は照射された対象物を人間の眼で見るため,白色と しての色度(色温度,偏差)を揃えるだけでなく,演色 評価数も揃える必要がある。

開発したLEDは、電球色LEDとほぼ同じ色度(色温 度,偏差)に調整し、R9以外の演色評価数もほぼ同じ である。(表6,図11)R9は赤色に対する指標であり、近 赤外光(遠赤色)の強度によって影響を受けている。R9 に少しの差はあるものの、図12に示すように近赤外光 (遠赤色)の強度に明確な違いが出ている。

比視感度曲線から700nm以上は感度が無いように見 えるが、50倍した比視感度曲線を見ると750nm付近ま で明るさを感じていることがわかる。このことから、開 発したLEDに照らされた対象物は、太陽光で照らされ たものと同じ見え方が期待できる。



近赤外光(遠赤色)は視感度が悪いため,開発した LEDの発光効率は半分程度に低下するが,WPEは3割 程度の低下であった。これらの効率と近赤外光の強度は トレードオフの関係にあるため,必要に応じて近赤外光 の強度を調整することが好ましい。

今回,電球色の3000Kをターゲットにして近赤外光を 強調したが,昼白色の5000Kやほかの色温度でも応用で きる。車体塗装検査や舞台照明用のLEDとして期待し たい。

表6 車体塗装検査用	、舞台照明用	LED	の特性
------------	--------	-----	-----

	発光	効率	光出力 Σ 380-1042		WDE	v	¥7	色温度	偏差	
	[lm/W]	比	[mW]	比	WIL	А	~	y	[K]	[duv]
電球色 LED	127	109%	82.3	100%	45%	0.439	0.411	3022	0.002	
近赤外光協調①	108	93%	75.1	91%	41%	0.435	0.402	3006	-0.001	
近赤外光協調②	86	74%	68.3	83%	38%	0.437	0.405	3012	0.001	
近赤外光協調③	62	53%	60.5	74%	33%	0.434	0.400	3010	-0.001	

サンケン技報 vol. 56 (2024)

5. まとめ

近赤外発光する蛍光体を用いて植物育成,分光分析, 車体塗装検査,舞台照明をターゲットとした特殊なLED の開発をおこなった。蛍光体に由来する特異な発光スペ クトルを有し,発光波長の変化を小さくできる。また, 発光効率は実用レベルにあるため,それぞれ実証実験の フェーズに移行し,その有用性を確認したい。

近赤外蛍光体の発光スペクトル,励起スペクトルの測 定において,防衛大学校の七井靖先生にご協力いただき ました。この場でお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 特許第 4982751 号
- 2) 大倉力, 応用物理 87, 6 (2018)
- 3) Y. Nanai, R. Ishida, Y. Urabe, S. Nishimura, S. Fuchi, Jpn. J. Appl. Phys. 58 SFFD02 (2019)
- 4) 特許第 7285829 号

- 5) 特許第 7090462 号
- 6) 国際公開第 2017/159175 号
- Y. Umetsu, S. Okamoto, and H. Yamamoto, J. Electrochem. Soc. 155 (2008) J193.
- W.M. Yen, S. Shionoya, H. Yamamoto, Phosphor Handbook 2nd. ed., CRC Press (2007) 483.
- 9) T. Kunimoto, New Glass 125 Vol.33 No.3 (2018)
- 10) 涌井貞一, 第 390 回蛍光体同学会講演会予稿 (2023)
- 11) B.H. Stuart, Infrared Spectroscopy, Fundamentals and Applications (2004)
- 12) 特許第 7452086 号
- 13) 特許第 6721048 号
- 14) 特開 2021-150360 号
- 15) W. A. Thornton, J. Opt. Soc. Am., 62-2, 191 (1972)
- 16) M. Koedam, J. J. Opstelten, Lighting Res. Tech., 3, 205 (1971)
- 17) 特開 2024-061514 号

次世代車載用 IPD "SIP1 シリーズ"の開発

Development of Intelligent Power Device SIP1 Series

川 口 広 明* Hiroaki Kawaguchi

概要 電動化や自動運転化,コネクテッド化など自動車は大きな変革期に入っており,これに伴っ て自動車のE/Eアーキテクチャも機能分散型からドメイン型,ゾーン型へと急激な変化が起こって いる。

ゾーン型のE/Eアーキテクチャでは、従来のメカリレーやヒューズを用いた配電システムからIPD 等の半導体を用いた配電システムへの切り替えが見込まれている。次世代ゾーン型配電システムに 必要となる機能を盛り込んだ次世代車載用IPD "SIP1シリーズ"を開発したので報告する。

次世代ゾーン型配電システムでは、各ボディードメインコントローラユニットに搭載される IPD の チャネル数が増加するため、制御用 MCU の端子資源の増加や各 IPD の保護・監視にかかる演算リソー スの増大を招き、開発にかかる工数の増加並びに MCU の高機能化による BOM コストの増加が課題 となる。これら問題を解決するため以下の機能を搭載した

①. ヒューズ代替機能として、ハードウェアでのワイヤーハーネス発煙保護機能の内蔵

②. SPI通信を介してのIPD状態監視および各種機能設定・保持機能の搭載

③. MOSチップサイズの大きさを変えることで、オン抵抗シリーズラインナップの実現

1. まえがき

近年の自動車は電動化,自動運転,通信,AI等をは じめとした新たな技術を取り込むために,さまざまな試 みがなされている。特に自動運転を実現するため,E/E アーキテクチャの変革が模索されている。E/Eアーキテ クチャとは,自動車に搭載されるECUやセンサー,ア クチュエータなどの各種部品を接続するシステム構造で ある。E/Eは電気/電子(Electrical/Electronics),アー キテクチャはシステム構成・設計思想を意味する。

E/Eアーキテクチャの変革は、機能分散型からドメイ ン型へと機能集約する形で進化してきた。さらに、ゾー ン型への移行は、自動運転を見据え、車載コンピュータ が運転者の代わりに車を操作することを前提としたシス テムへの転換点となる。従来型の配電システムではメカ リレーやヒューズが用いられるが、接点部の故障率の高 さや動作時の消費電流、ECUの配置上の制約などが課 題となる。そこで、ゾーン型のE/Eアーキテクチャに おいてはメカリレーやヒューズの代わりに、IPDに代表

*技術開発本部 パワーデバイス開発統括部 車載 IC 開発部開発 1 課 される半導体スイッチデバイスが多数使用されることが 見込まれている。

IPDとはIntelligent Power Deviceの略であり,各種保 護機能などの付加機能を内蔵した半導体スイッチデバイ スである。今回開発した次世代車載用IPDはハードウェ アによるハーネスの発煙保護機能を搭載しており,線径 や線種ごとにパラメータ調整することで,さまざまな負 荷に対応した半導体スイッチ機能を提供する。本製品は この機能により,制御用MCUの端子・演算資源を抑制 しつつ,多くのIPDチャネルを制御することを可能とし, 次世代ゾーン型E/Eアーキテクチャへの適用性を高め ている。

2. 製品概要

本製品は当社ZeroMOSプロセスとBCDプロセスを活 用し,低オン抵抗・高ロバスト性と高度な制御機能を実 現したハイサイドスイッチIC (IPD)である。パッケー ジには小型高放熱面実装パッケージHSSOP24を採用し, 1パッケージに出力素子と制御素子の2チップを搭載し ている。

本製品の機能ブロック図を図1に示す。また、標準 接続回路図を図2に示す。 出力素子は複数のオン抵抗ラインナップを設け,負荷 に合わせたオン抵抗製品を選択することができる。また, 温度検出素子を内蔵しており,発熱源に近い箇所での過 熱状態を検出することを可能としている。

制御素子には、高精度電流検出回路、A/Dコンバータ、 CMOSロジック制御回路、シリアル通信ポートを搭載 している。さらに、ハーネス発煙保護機能を搭載してお り、負荷電流からハーネス温度を推定し、発煙前に出力 を遮断することができる。ハーネスパラメータは発煙特 性に合わせて柔軟な設定を行うことができ、内部の不揮 発性メモリ (EEPROM) に各種設定情報を保持できる。

また、本製品には過電圧/低電圧保護機能、過電流保 護機能、過熱保護機能、逆接保護、SPI通信途絶保護(Limp Home)など、車載用途として必要なインテリジェント 保護機能を有している。これらの保護機能については、 シリアル通信により各動作設定とステータスを確認する ことができる。







3. 特長

3.1. ワイヤーハーネス保護機能

本製品ではハードウェアでのハーネス温度推定による ハーネス保護発煙機能を差別化機能として内蔵した。本 機能は,デジタル回路に高精度な演算回路を搭載するこ とにより,負荷電流およびハーネスの情報からハーネス の温度推定を適宜行い,予め設定された保護温度に到達 すると保護動作を行う。

ハーネスの情報および保護動作の設定は顧客にておこ なうことができる。これらの設定はEEPROMに保持す ることができるため、一度設定することで簡便に保護機 能を活用することができる。ハーネスの情報としては、 さまざまな種類のハーネスに対応するため、ハーネスの 物理特性に合わせたパラメータを設定可能とした。また、 保護動作に関して、設定可能なパラメータの内、主なも のを以下に示す。

・INEN: SPI通信による ON/OFF 制御切替

・SR:出力スルーレート設定

·LHAct:SPI通信途絶保護(Limp Home)動作設定

3.2. EEPROM (不揮発性メモリ)

各種設定情報を保持するためにEEPROMを搭載した。 EEPROMはSPI通信を介して、書き込みおよび読み込み をユーザ自身で行うことができる。あらかじめ書き込ま れた各種設定情報は、電源投入後に自動的にEEPROM から読み込まれるため、SPI通信による各種情報の初期 設定が不要となる。これにより、システム全体のセット アップ時間の短縮およびECUの負荷軽減が期待できる。

EEPROMに書き込むデータには、ECC (Error-Correction Code) としてハミング符号を付加している。本 符号により、送受信データの誤り検出と1ビットのデー タ訂正が可能であり、システム全体のロバスト性向上が 見込める。

3.3. 動作検証用評価環境

SIP1シリーズの特性評価をサポートするため、標準 評価環境を構築した。

- (1) 当社IPDを3ch搭載の評価ボード
- (2) 通信およびIC制御用のマイコンボード・プログラム
- (3) ICの制御およびモニタ用のGUIプログラム

図3にSIP1シリーズ評価ボードを示す。本評価ボード とマイコンボードを組み合わせ、PCとUSBで接続するこ とでIPDのパラメータ設定と動作モニタが可能となる。

GUIにてワイヤーハーネスの各種パラメータ,各種動 作オプションの設定後,On/Offボタンで出力を制御可 能となる。IPD は負荷電流とハーネスパラメータから, ハーネス推定温度を逐次演算しており,SPI 通信経由で 負荷電流およびハーネス推定温度,IPD のステータス情 報をモニタすることができる。図4にGUIモニタ波形 例を示す。



図3 SIP1 シリーズ評価ボード



図 4 GUI モニタ波形例

4. 設計

4.1. モノリシックICチップ

図5にモノリシックICのチップ表面写真図を示す。 適用したプロセスは当社第8世代モノリシックICプロ セスで,180nmの微細CMOSと100V耐圧の高圧DMOS を組み合わせたBCDプロセスである。BCDプロセスと は、バイポーラトランジスタ、CMOS、および低オン抵 抗 DMOS FETを1チップ上に集積することができるプ ロセスである。

CMOSロジック制御回路は、言語設計(Verilog-HDL) を用いて効率的に設計されている。また、車載の高品質 および高信頼性を確保するために、CMOSロジック制御 回路の故障検出率を向上させなければならない。本製品 では、ATPG (Automatic Test Pattern Generator)やIDDQ テストをチップテストに導入することにより、高い故障 検出率を実現している。



図5 モノリシック IC チップ表面写真図

4.2. MOS FET

図6にMOS FETの表面写真図を示す。MOS FETは 40V耐圧の当社ZeroMOSプロセスを採用している。Zero MOSプロセスは業界トップレベルのFOM (Figure of Merit)性能を持つプロセスとなっており、これにより 小型かつ低オン抵抗を実現している。

またオン抵抗の低減にはMOS FETのウエハ厚を薄く することが有効であるが、その場合搬送リスクや反りに よる破損のリスクが発生する。その対策としてウエハを 研削する際、ウエハ最外周のリム部分を残し、その内周 のみを研削して薄化するプロセスを採用している。



図 6 MOS FET 表面写真図

4.3. パッケージ

図7にSIP1シリーズの内部構造図を示す。また外形 図を**図8**に示す。

本製品は、放熱フィンとなる金属フレーム上に2つの チップを搭載した構造としている。本製品は、MOS FETチップサイズを変えることで、以下のオン抵抗シ リーズラインナップを予定している。

9.5ma, 7.5ma, 5.0ma, 4.0ma, 3.0ma, 2.0ma, 1.6ma, 1.3ma, 1.0ma

モノリシックICチップと金属フレームの接続には絶縁を確保するためDAF (Die Attach Film) テープを使用 し, MOS FETチップと金属フレームの接続には高熱伝 導・高信頼性確保のため焼結銀を使用している。チップ と外部端子の接続はワイヤーボンディングにより行って いる。

5. むすび

次世代の車載用IPDとして、ゾーン型のE/Eアーキ テクチャに合わせ、以下の機能を有する、次世代IPD、 "SIP1"シリーズを開発した。

- ヒューズ代替機能として、ハードウェアでのワイ ヤーハーネス発煙保護機能の内蔵
- SPI通信を介してのIPD状態監視および各種機能設 定・保持機能の搭載
- MOSチップサイズの大きさを変えることで、オン 抵抗シリーズラインナップの実現

今後,オン抵抗ラインナップの拡充,さらなる機能拡 張を検討し,ユーザのニーズに応える開発を行う所存で ある。



図7 内部構造図



高圧フルブリッジ型 LLC 電源向け 高効率同期整流コントローラの開発

Development of highly efficient controller of synchronous rectification for high voltage full-bridge LLC power supply

金 正 烈*伊 藤 公 一*姜 韓 柱**Kim JungyulKoichi ItoKang Hanju

概要 近年,大型TVやEV車用途の高圧バッテリ充電器向けのLLC電源では,電源のスリム化の ためトランスの小型化およびパワー素子のヒートシンクのレス化・小型軽量化が求められている。 この要求に応えるためのソリューションとして,電源の二次側をフルブリッジ構成にして高出力電 圧・低電流化をおこなった。さらにパワー素子の温度を下げるため同期整流化をおこない,効率の 良いスイッチング制御をおこなうための新しい同期整流コントローラICを開発した。本稿では当社 独自の高効率システムを確立したため報告する。

1. まえがき

近年TV画面は、大型化と高解像度化に加えて数年前 とは比較にならないほど飛躍的に薄型トレンドが進んで いる。このためTVメーカは、電源ボードのスリム化技 術の開発に力を入れている。

電源ボードのスリム化における最大の障害は、トラン スとヒートシンクの厚さである。この障害を解決するた め、LLC電源の二次側をフルブリッジ構成にして高出力 電圧・低電流化を検討した。二次側にフルブリッジ構成 の高圧整流器を使用することで、トランスの二次側の巻 線を減らし、小型化することができる。また、高圧整流 器を同期整流化し効率的なスイッチング制御をおこなう ことで、パワー素子の発熱温度を下げ、ヒートシンクレ ス化ができる。本稿では、効率のよいスイッチング制御 をおこなうための新しい同期整流コントローラICを開 発したため報告する。

2. 製品概要

電源ボードのスリム化を目的として開発した本同期整 流ICは、図1に示すようにLLC電源の二次側がフルブ リッジ構成のものを対象とする。

* サンケンエレクトリックコリア * * 技術開発本部 パワーデバイス開発統括部 電源 IC 開発部 2 課 フルブリッジ構成は、トランスの二次側巻線を同じ出 力電力で図2に示すセンタータップ構造と比較して半 分(2巻線に対して1巻線)に減らすことができる。





サンケン技報 vol. 56 (2024)

また,二次巻線間のリーケージインダクタンスがなく サージ電圧の発生が少ないため,ダイオードの耐圧はセ ンタータップ構成の整流器と比較して1/2以下となる。 したがって,センタータップ構成と比較してパワー素子 の耐圧マージンを持たせる必要がない。

3. 二次側同期整流動作

二次側を同期整流化するためには、図1における二 次側のフルブリッジ構成の整流ダイオード部分を図3 のように4つのパワーMOSFET(以下,FETとする)に 置き換え、図4に示すタイミングでFETを駆動させる 必要がある。なお、図3に示すローサイド側のQ3およ びQ4は、メインスイッチ、ハイサイド側のQ1および Q2は、サブスイッチである。この4つのFETを効率よ



くスイッチング制御をおこなうことで導通損失を減ら し、FETの発熱温度を下げることができる。

4. 制御システム

4.1. 本同期整流 IC のブロック構成

図5に本同期整流ICのブロック図を示す。図3のQ3 およびQ4のドレイン・ソース間の電圧を図5に示す VDAとVSA、VDBとVSBとで検知する。これにより、 Q3およびQ4のゲート駆動信号VGLAとVGLBの出力 タイミングを最適に制御する。また、VGLAとVGLBに 連動してQ1およびQ2のゲート駆動信号VGHAおよび VGHBを出力する。なお、IC内部の制御には数+MHz のクロックを使用し、1サイクル前の情報をもとにビッ ト演算を高速におこない、タイミング制御をおこなう。



図5 本ICのブロック図

4.2. メインスイッチのゲート駆動制御

メインスイッチであるQ3およびQ4は、図6に示す ようにゲート駆動信号の立上り前半ではディジタル駆動 制御,立下り後半ではスロープ制御をおこなう。本IC



ではこの両者を組合せた新しい駆動方法を確立し採用した。

ディジタル駆動制御のみの場合,ゲート駆動信号のス イッチングスピードを速くすることができスイッチング 損失を減らすことができる。しかし,ターンオフ時直前 に*I*_{DA} (*I*_{DB})の電流変化が急激に大きくなるため図7に示 すFETのリードの寄生インダンクタンスで大きな逆起 電圧VL (以下,VLとする)が発生する。このVLにより, 図8に示すようにターンオフ時*I*_{DA}が0Aになるよりも 先に*V*_{DA} (または*V*_{DB})が早めにオフしきい値に到達し, ゲート駆動信号がターンオフする。このため,FETの導 通期間が短くなりボディダイオードによる導通損失が増 え効率が悪化する。



図7 実際の MOSFET



図8 理想波形と現実波形

これを解決するために、ターンオフ時はゲート駆動信 号のスロープを変えることで、オン抵抗 (R_{DSON})を制御 するスロープ制御を採用した。スロープ制御は、一周期 前にゲート駆動信号のターンオフの状態を検出して次の 周期の動作を決める。ゲート駆動信号が早くオフした場 合にはスロープを大きくし、遅くオフした場合にはス ロープを小さくするように制御する。ゲート駆動信号に スロープ制御を適用すると、**図9**のようにFETのオン 電圧V_{RDSON}が寄生インダクタによって発生したV_Lを相 殺して早めにオフすることを防ぐ。これにより、同期整 流としてのパフォーマンスを最大限に引き出すことがで きる。



図9 スロープ制御による効果

4.3. オンマスク自動調整制御

二次側巻線の電圧波形には、導通するパワー素子の チャンネルが切り替わるタイミングでリンギング電圧が 発生する。同期整流化で整流ダイオードをFETに置き 換えた場合、同期整流ICではFETのドレイン・ソース 間電圧がオンしきい値に達したことを検知してゲート駆 動信号をターンオンさせる。このためICは、リンギン グ電圧でFETが誤動作しないことが重要である。

当社が従来開発した同期整流ICでは、リンギング電 圧をマスクするための時間設定を外部端子でおこなって いた。しかしこの場合、負荷が変わったときにも常に同 じマスク時間となるため部品定数の設定が難しいという 欠点があった⁽¹⁾。これに対して本ICでは、図10で示す ようにゲートターンオン直前のボディダイオードの導通 時間がオンマスク時間の70%を越えたことをカウント することによって、最適なオンマスク時間を決定する。

カウントが2回以上となった場合は次の周期のマスク 時間を広げ、2回未満の場合は狭める。ボディダイオー ド導通時間がオンマスク時間よりも長くなるとゲート駆 動信号がターンオンする。

これにより,マスク時間を自動で調整することで導通 角の広いゲート駆動信号が得られ,効率を高めることが できる。



5. 試作評価結果

5.1. 同期整流動作

図11に本同期整流ICの動作波形を示す。二次側巻線 電流が流れる期間中、ICの制御によりゲート駆動信号 が最適に出力されている。



図 11 AC220V/Vo=60V, /o=6A 負荷時の同期整流波形

5.2. 特性評価結果

同一出力電力でセンタータップのダイオード整流と. 本ICを用いたフルブリッジ構成の同期整流で温度およ び効率の比較をおこなった。評価条件を表1に示す。

表 1 評価条件								
構造	センタータップ	フルブリッジ						
制御	ダイオード整流	同期整流 (本 IC 適用)						
	ダイオード	パワー MOSFET						
デバイフ	200V/20A	100V/8.6m Ω						
	TO-220	TO-220						
	10pcs (2ch/pcs)	4pcs						
ヒートシンク	$120 \times 50 \times 7.5 \mathrm{mm}$	なし						

・実験モデル:75 インチ TV モデルボード

出力電力:360W(Vo=60V, Io=6A)

・エイジング:2時間

評価結果を表2に示す。ダイオード整流の場合、ダ イオードがAchおよびBchにそれぞれ5素子(2素子/ pcs) ずつ, 同期整流の場合FETをチャンネル (ch) あた り2素子ずつ(H/SとL/Sに1素子ずつ)使用した。結果、 同期整流はヒートシンクなしで平均54.6℃、ダイオード 整流はヒートシンクありで平均54.4℃と同等の温度とな り同期整流の良好な特性が得られた。また、図12の効 率および損失比較においても良好な特性が得られた。

表 2 評価	結果
--------	----

表 2 評価結果									
構造 制御	セ タ	・ンター 「イオー	タップ ド整流	フルブリッジ 同期整流 (本 IC 適用)					
トランス		72.0	°C		70.2℃				
ヒートシンク	120	\times 50 $\stackrel{>}{_{\sim}}$	× 7.5mm		なし				
	Ach	#1	54.6℃	Ash	#1 H/S	54.6℃			
	Ach	#2	55.9°C	Ach	#2 L/S	55.6℃			
デバイス	Ach/ Bch	#3	54.0°C	Bch	#3 H/S	55.6°C			
	Bch	#4	54.4℃		#4 L/S	54.6℃			
	Bch	#5	53.2°C	-	-	-			
	平	均	54.4°C	Ī	平均	54.6°C			



6. むすび

本ICは、高圧フルブリッジ型LLC電源二次側同期整 流ICとして開発をおこなった。まず検出端子VDAおよ びVDBの耐圧を高くしたことで、出力電圧を高圧にす ることを可能とした。また新しいゲート駆動制御として, ディジタル駆動制御とスロープ制御を確立した。試作評 価では、ヒートシンクがない場合でも従来のダイオード 構成と同等の温度となり、電源ボードの面積を減らすこ とができる結果が得られた。以上の結果より、電源ボー ドのトランスの小型化とヒートシンクの削除を実現した ことで、テレビのスリムを可能とした。

7. 参考文献

(1) 遠藤, 近重, LEE, 伊藤: サンケン技報, vol.47, p25-28 (2015.11)

サンケン技報 vol. 56 (2024)

スイッチング電源の設計支援ツールの開発

Development of a Design Support Tool for Switch-mode Power Supplies

深石雄士* Yuji Fukaishi

概要 スイッチング電源の設計計算は使用するICの理解やトランス設計・回路設計等知識が必要 であり、電源の設計を容易にすることは、その電源ICの採用機会を拡大する効果が期待できる。 そのような機会を増やすため、当社ICを使用した電源設計の設計支援ツール「Sanken STR Pro」 を開発した。ツールの対象製品としては、販売数の多いフライバックコンバータ電源ICを選定し、 周辺回路を含めた自動計算が可能である。

1. まえがき

電源ICの選定には、「ICの対応電力」「端子機能」「内 部動作」「周辺回路構成・定数」等把握が必要となる内 容が多い。複数メーカーの電源ICがある中で、電源を 専門としない設計者が電源ICを選定する場合、QCD以 外にもサポートの充実など試作検討までの容易性、検討 のしやすさも要素としてあげることができる。

当社電源ICにはLLC用, PFC用などのラインナップ があり,幅広い顧客で使用されている。今回,当社電源 ICの採用機会の拡大を目的とし,フライバックコンバー タ用電源ICを使用した,AC/DCコンバータ設計ツール 「Sanken STR Pro」を開発した。

2. ツールの思想

ユーザーには、簡易に計算結果が得られるよう、設定 可能項目を最小限にした。図1にSanken STR Pro入力 画面を示す。



*技術開発本部 パワーデバイス開発統括部 システム開発部 電源制御開発課

入力画面内の黄色セルに入出力仕様と水色セルに希望 する電源ICを選択することで,設計結果が得られるようにした。

設計結果として,基板設計に必要な回路図,部品表, トランス仕様を出力することで,速やかに実機の作製に 取り掛かれるようにした。

3. 内部計算手順

ツール内部での設計計算は下記の順でおこなう。

- 1:トランス計算
- 2:ICの選択
- 3:周辺定数の計算

上記計算から実用的な結果を得るには理論値に加えて 経験から得られた知見も必要となり、従来はFAEが手 動で計算して提供していた。本ツールは理論式に加えて FAEが蓄積した知見も盛り込みエクセル・VBAを用い て自動化したものであり、ユーザーは簡単な操作で現実 に即した結果が得られる。

スイッチング電源の設計の根幹となるのはトランスの 設計であり,まず入出力仕様をベースに条件に見合うト ランスを計算する。計算は下記の要件で行っている。

- ・対応する電源ICが使用できるか(IC温度上昇が50度以下となること)
- ・トランスをできるだけ小さくする (EI16から順に計算)
- ・NI余裕度(磁束の飽和がないこと)
- ・巻厚(実際に巻くことができるか)

フローチャートとして示すと、図2のように示せる。 また、変数要素についても複数存在し、トランス仕様 の計算は複雑である。そのため、フライバック電圧・想 定効率については、入出力の条件に対してテーブルを用 意して、パラメータを選択するようにした。

トランスの計算としては、二次側巻き数N_s・一次側 巻き数N_pを仮定し、出力仕様に合わせて、必要線径を



図2:トランス計算判定フローチャート

仮定する。その条件で、ギャップLgを0mmから徐々に 増加させて、すべての判定を満たすまで繰り返すものと なる。

ここで*L*gとトランスのインダクタンスLとNI余裕度 (一次側許容電流)の関係を図3に示す。*L*gが小さいと トランスのインダクタンスLは大きくなり、NI余裕度 (図3の一次側許容電流)が小さい。NI余裕度が必要な 値となる*L*gでその計算条件で最大のインダクタンスと なるため、インダクタンスが基準判定値より大きければ 計算終了となる。



図 3: Lg とインダクタンスの関係(例: El16, Np=100T)

トランスを試作・量産するためには、コアやボビン等 の部材入手性を考慮する必要がある。そのため今回は、 サンシン電気⁽¹⁾経由で供給可能なコアとボビンの情報 を提供いただき、その図面をもとに計算するようにして いる。供給可能なボビンに基づいた設計を行うため、実 現可能な設計結果を得ることができるほか、結果を基に トランス試作依頼も可能である。

手計算の手法ではある程度のあたりをつけて計算を行 うため、最適値に調整するためには計算する工数が多く かかりすぎる場合がある。本ツールでの計算は、二次側 巻き数*N*s・*L*gの組み合わせに対して総当たりで計算を 行い、より小さいコアで必要なインダクタンスを満たす かどうかを判定している。そのため、手計算では工数が かかりすぎて難しい、指定条件内で最適となる結果を得 ることができる。

AC-DC電源設計ではACラインのノイズ対策も設計 が難しい項目としてあげられる。本ツールでは蓄積され た実機でのノイズデータを基に、電源の電力仕様に合わ せたノイズフィルタを選定するようにしている。これに より妥当なノイズフィルタが選定可能となり、ユーザー のノイズ対策関連の工数削減が期待できる。

また,当社フライバックコンバータ用電源IC は,負 荷に応じて発振周波数を低減する「グリーンモード」を 有している。図4のように「グリーンモード」により 発振周波数が変化するため、固定周波数のPWMと比較 して計算が複雑となる。本ツールでは、計算する負荷領 域に対応する発振周波数を求め、より適したICを選択 するようにしている。



4. 得られる結果

計算の結果として、以下を得ることができる。

- 1. 「トランス仕様」(図5)
- 2. 「回路図」 (図6)
- 3. 「部品表」(図7)









図7:部品表

- ・トランス仕様については、トランス試作に必要なパラ メータを網羅した結果を出力可能なため、そのままトラ ンスメーカーへ提出し迅速な試作ができるようにした。
- ・回路図については当社標準デモボードに準拠している ため、基板の作製が容易に可能である。
- ・部品表については定格を記載し、部品選定のサポート としている。

5. 結果の妥当性

AC/DCコンバータ 設計ツールとしては実機に適用で きる結果が得られることが重要であり、結果が実用的で ない場合は設計効率の改善という主目的が果たせない。

今回,本ツールの検証として,出力された結果を基 にSTR6A153MVDを使用した出力15V/1.61Aの基板 (DE0023⁽²⁾⁽³⁾)を試作した。評価した結果を以下に示す。 (図8~図11,表1)



サンケン技報 vol. 56 (2024) --- 7-03---



図8と図9の効率特性から定格負荷時の効率が85% 以上であるため、十分な性能となっていることが確認で きた。



図10と図11のレギュレーション特性についても入力 電圧や出力負荷に対して出力電圧の変化が小さく,問題 ないことが確認できた。

表1に部品温度上昇の結果を示す。ICやトランスの 温度上昇についても雰囲気温度50度に対して部品温度 100度以下であることが確認できた。

以上の結果より,実用上問題の無い特性であることが 確認できた。

表1:部品温度

国国泪座	1 力承亡	定常時ケース温度[℃]						
同囲温度 [℃]	[VAC]	電源 IC(U1)	2 次側整流 ダイオード (D51)	トランス (T1)				
95	85	70.5	72	52.7				
25 276	276	59.8	72.4	52.7				
E0*	85	95.5	97	77.7				
50*	276	84.8	97.4	77.7				

* 周囲温度 25℃から換算したケース温度

6. 今後の展望

今回開発したSanken STR Proは当社ホームページで 自由にダウンロードできるようにしており,国内外の幅 広い方々にダウンロード頂くことができた。

現時点のツールは単出力であるが,フライバックコン バータは多出力で使われることも多く,ユーザーから多 出力対応の要望もいただいている。また,ユーザーの関 心点としてはトランスの温度上昇も挙げられる。

そのため次バージョンとして多出力,トランス温度推 定機能の追加も検討中である。

7. むすび

今回,当社フライバックコンバータ用電源IC である STRシリーズを使用した,AC/DCコンバータ 設計ツー ル「Sanken STR Pro」を開発し,経験が必要だった AC-DC電源の設計を簡略化することができた。

今後も機能の追加アップデートを行い,より利便性の 高いツールとしていきたい。

最後に、ツール作成にあたり協力してくださった方々 に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) サンシン電気株式会社 https://www.sanshin-ele.com/sanshin/index.html
- (2) サンケン電気 AC/DC コンバータ IC 電源設計例
 DE0023 日本語版
 https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/common/pdf/
 designexample/dej0023.pdf
- (3) サンケン電気 AC/DC コンバータ IC 電源設計例 DE0023 英語版 https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/common/pdf/ designexample/dee0023.pdf

画像検査システム「Al-fact」の開発

Development of Image Inspection System "AI-fact"

桶 谷 宗 司* Soshi Oketani

概要 デジタル技術の劇的な進化によって、今日では日々の生活にデジタル技術が浸透し、生活 者一人ひとりのデジタルリテラシーが大幅に向上している。結果、企業が提供するサービスに対し ても高い利便性が求められるようになり、目の肥えた要求レベルに応えるために、新たな価値を創 出しなければならない。加えて、今日では少子高齢化によって労働力不足が常態化しており、ひと 昔前の「会社が人を選ぶ時代」から「人が会社を選ぶ時代」になりつつある。

当社においてもビジネス環境の激しい変化に対応するため,DX (Digital Transformation) 推進施策 の1つとして生産工場のスマートファクトリー化となる画像化 (官能検査の自動化) に取り組んでい る。今回,これらの要求に応えるために開発をおこなった内製画像検査システム「AI-fact」について 述べる。

1. まえがき

スマートファクトリー化の取り組みである目視検査の 画像化の拡大にともない,さらなる生産性向上,画像検 査精度向上,品質管理強化,コスト削減など画像検査シ ステムに求められる要求が高まってきている。

これまで導入してきた汎用画像検査システム(以下, 「汎用機」と記載)ではこれらの要求に対応することが困 難となってきた。⁽¹⁾

これらの要求に柔軟に対応することをコンセプトとし てサンケン独自の内製画像検査システム「AI-fact」(ア イファクト)の開発をおこなった。

2. AI-fact開発

2.1. AI-fact開発コンセプト

AI-factの名前の由来は、目視検査から画像検査への置 き換わりとスマートファクトリー化の理念を取り入れる というコンセプトを元に名付けた。「AI」(人工知能)と 「eye」(目)、「factory」(工場)と「fact」(事実)というキー ワードを元に、AIが画像検査において目の役割を果たし、 スマートファクトリー化の目標である「fact」(事実)に基 づいた品質管理を実現することを意味している。

AI-fact開発を進めるにあたって、以下のコンセプトを 掲げた。

- ①トレーサビリティ強化:各画像検査機で画像を全数保存することで、不良解析、工程改善、問題点調査へのフィードバックができる⁽²⁾
- ②使いやすいユーザーインターフェイス:機能を絞り, 生産工程でわかりやすいシンプルさを追求
- ③コスト削減:低価格でシステムを提供可能。既存シス テムの約40%削減を目指す
- ④過検出率低減:汎用機にはない機能で画像検査精度を 向上させ、過検出率低減を目指す
- ⑤SPP化: Sanken Power-electronics Platformによる画 像検査アルゴリズム、ユーザーインターフェイスで扱 いやすさを追求
- ⑥進化:自分たちの発想に合わせシステムに反映できる 拡張性が高いシステム

2.2. トレーサビリティ強化

製品サイズが大きな品種を対象にした画像化案件が増加しており、20MPixel (2000万画素)以上の高画素カメ ラが主流となっている。しかし、高画素カメラを使用す ると画像ファイルの容量が大きくなり、保存処理に時間 がかかるという課題があった。また、汎用機では保存速 度が要求タクトに追い付かず、全ての画像を保存するこ

^{*}ものづくり本部ものづくり開発センター

生産改革部 画像開発課

とができなかった。

そのため, AI-factでは図1に示すように並列処理の採 用と, 高速ストレージ導入をおこなった。並列処理は画 像処理を撮像/検査/保存の3つのタスクに分け, それぞ れを並列で処理することで全体の処理時間を短縮した。

高速ストレージの導入では従来のHDDからSSDへの 変更により,保存時間を大幅に短縮した。



図1 Al-fact 並列処理

さらに、AI-factでは、保存する画像をチューニング用 や履歴用などの目的に応じて用途別に分類し、画像の ファイル形式や保存先パスを個別に設定することを可能 にした。これにより、画像保存の柔軟性を高め、それぞ れの画像の目的や要件に適した保存方法を選択すること ができるようになった。

従来,画像保存先は製造工程毎にUSB-HDDに保存し ていた。AI-factでは図2に示すように各工程の画像処理 PCで保存した画像を高速な10Gbpsの回線を使用して, 画像サーバーの大容量ストレージに転送することができ る。また,画像サーバーに保存された画像は,サンケン グループネットワーク内で閲覧することができる。



図2 画像機器ネットワーク構成

2.3. ユーザーインターフェイス

図3~5にAl-factのユーザーインターフェイスを示 す。主要機能の画面として,運転画面,領域編集画面, デバッグ画面をデザイン・作成した。

運転画面では、製品画像、ロット、投入数、検査判定



図3 ユーザーインターフェイス 運転画面



図4 ユーザーインターフェイス 領域編集画面

Dicti構造	Inspirit v Refresh	Dict79416	検査法	用過訊				
b L2_Masterimage b L2_ShapeModel		Object表示		Value	Cul(K)	Row(Y)	10	Name
e-L2_Area e-L2_Spec	1 1 1		1.0	6304	2097	90	DBCMddScore	
In L2 Param			2	1.0	1248	2014	90	100701988Score
@-L2_Bese			3	1.0	2014	1990	90	1G8T1298.85core
@ L2_Result		the start of	4	1.0	2988	1600	90	IGET13B(85core
E2_HomMet2D		a "/a "/a d/a a/		1.0	4263	2002	90	IG87049825core
in 12 Infmane			A 6	1.0	5112	2003	90	1G8T059kitiScore
Camillinionimat	*1	College and the set	7	1.0	5939	2000	90	1G8106Bd55core
Cam1UnionImag	m2	the second s		1.0	1282	1379	90	FREODBR/#Soore
CamilUnionBrag	e3	And the second s		1.0	2205	1377	90	FRECOMERIES COMP
8-L2_OutImage			10	1.0	3136	1371	90	FREO18kikScore
© L2_SaveImage		and a block of the later	11	1.0	4305	1342	90	PREO-HILEScore
		man innovan	12 12	1.0	5394	1380	90	FREOSBABSoore
		Turolo E in	13	1.0	6228	1350	90	PREDOMASSION
		image	34	1.0	1205	2004	90	ALIst1_19800Foore
			15	1.0	2157	2621	90	ALIst2_18825Score
			36	1.0	2137	2005	90	ALIst2_1MDDGcore
			17	1.0	4130	2623	90	ALIst4_18055ore
			38	1.0	5253	2602	90	AL1et5_10825core
			29	0.9	6074	2005	90	ALIst5_SR05Score
			20	1.0	1279	1360	90	ALS20:01_1000628
			21	1.0	2214	1360	90	ALStrick2_1000480
			22	1.0	3160	1367	90	ALSR8:53_19204EIR
			23	1.0	4115	1328	90	ALSERUH4_14004
			24	1.0	5405	1309	90	ALSERUDS_100048
			25	1.0	6237	1368	90	ALStRth6_1得出档果
			26	1.0	1093	2548	90	CuOwDbell19kEfcore
			27	11.5	1091	2346	90	CuOndDeclai株用サイズ
			28	1.0	1267	2627	90	CuOvdD8c0298265core
			29	11.5	1367	2025	90	Cu2ndDbc02換出サイズ
			- 20	1.0	2016	2004	90	CuDedDirdDirdDirdDirdDirdDirdDirdDirdDirdDir

図5 ユーザーインターフェイス デバッグ画面

結果,画像NG判定数などの流動情報を表示する。領域 編集画面では,検査領域設定,パラメータ調整,閾値設 定を行う機能がある。デバッグ画面では,処理画像,検 査結果,検出値など画像検査に使用する全てのパラメー タを表示できる。各項目はツリー状に階層別に分類し, どこに何が入っているか容易に識別ができる構造になっ ている。各インターフェイスは必要な機能だけを実装し たシンプルでわかりやすい構成とした。

2.4. コスト削減

AI-factは市販の高機能画像処理ソフトウェア(以下, 「高機能画像SW」と記載)を用いて高速かつ高精度な 画像解析を実現している。

ソフト面では,新たに採用した高機能画像SWによる 洗練された画像処理アルゴリズムにより,画像検査にか かる処理時間を大幅に短縮できた。またハード面では, 従来はラインナップの限られた汎用機から選択する必要 があった。しかし、AI-factでは安価で多種多様な市販 PCや周辺機器を組み合わせてシステム構築できる。画 像処理は内部的には数値演算の繰り返しが主な処理と なっているため、処理時間はCPUのパフォーマンスに 大きく依存する。AI-factでは要求仕様に応じたスペック の市販PC (CPU)を選択できるため、処理時間の大幅短 縮とコスト削減が両立できる。

この処理時間の改善は、他にも大きな効果をもたらし た。タクト要求を満たすために2台のカメラで検査して いた箇所を1台に削減できる。また、複数台の画像検査 機を用いて検査していた従来の製造工程も、この改善に より1台に集約することができた。これにより、大幅な コスト削減と設置スペースの削減、設計/立ち上げリ ソースの削減が達成された。図6にAI-factのシステム 構成と装置構成を示す。

さらに、従来の汎用機では同じメーカーのカメラやレ ンズなどを揃えて購入する必要があったが、AI-factの開 発により、さまざまなメーカーの機器を使用できるよう になった。これにより、仕様、コスト、納期など多岐に わたる面での優位性が向上した。



図 6 Al-fact システム構成と装置構成

2.5. 過検出低減

過検出は、画像検査において問題のない製品を誤って 不良品として判定してしまうことを指す。過検出と対を なす「見逃し」を考慮し、相反する両者をバランスの取 れた設定にすることが技術的な課題となっている。

AI-factでは、高機能画像SWの導入により、より高度 な画像演算処理や様々な形状フィルタリングが可能とな り、過検出の低減に効果を発揮した。また、過検出の調 整をおこなう際のシミュレーション環境が改善された。 従来は生産工程に出向き、画像を保存しているUSB-HDDを回収、画像ファイルを画像担当者用PCにコピー して過検出調整をおこなっていたが、AI-factではこの手 間を改善した。

図2で示した構成のように,画像チューニング用PC を準備し,ネットワーク上で画像転送とシミュレーショ ンが実施できるインフラを構築した。これにより,物理 的なロスを削減することができた。

過検出調整時は,発生箇所や傾向をいち早く把握し, 後戻りのない調整をおこなう必要がある。そのため,図 7に示すように不良個所の拡大画像,不良内容,製品の シリアルと対応する画像番号などの情報を1つの合成画 像に集約するプログラムを作成し,発生箇所特定と傾向 分析に役立てた。調整作業の効率アップにより,過検出 低減にかかるリソースを削減することができた。



図7 NG キャプチャーの合成画像

2.6. SPP化

AI-factの画像処理に使用している高機能画像SWはプ ログラムコードを記述して検査アルゴリズムを作成して いる。AI-factではSPPの概念を取り入れ、検査プログラ ムは検査項目ごとにプロシージャというファイル形式で 作成する構成とした。SPPとは、開発手法を見直し、共 通コンセプトによる設計改革、業務改革を志向する取り 組みである。

図8に示すように、プロシージャには決められた入 出力が与えられ、これに関係する部分のコードは定型化 された標準フォーマットを準備した。また、画像処理で 頻繁に使用するエッジ検出などの処理についても標準 フォーマットを作成した。これらの仕組化により、いつ誰 がおこなっても同じ結果を再現できる体制を構築した。



図8 プログラムコード

2.7. 進化

AI-factの今後の展望として、AI(人工知能)の導入や 3D画像の活用を検討している。これは現状の2D画像 で課題になっている内容を解決することができる。

高機能画像SWではディープラーニングを用いた,分類,セグメンテーション,OCRなどの各種AI機能が備わっている。これらを活用することで,従来のルールベースの2D画像では判別できなかったものも,AIによる高度な画像判定が可能となる。AI-factはこれらの先進技術を容易に取り入れることができる拡張性が高いシステムとなっている。

2.8. AI-fact開発まとめ

6つのコンセプトに基づきAI-fact開発を進めた。汎用 機では実現できなかった課題を解決し、図9に示す改 善の効果が得られた。



図9 Al-fact による画像検査システム改善

3. AI-fact導入実績

当社生産工場2拠点の生産ラインにAI-factを搭載した 画像検査機を導入した。

- ・石川サンケン 堀松工場B棟 SIM2-WB画像装置
 (写真 1)
- ・石川サンケン 堀松工場B棟 SIM2-外観画像装置
- ・新潟サンケン 半導体モジュール工程 各種画像装置



写真1 Al-fact 導入例

4. むすび

コンセプトに基づき開発を進めたAI-factを工場に導入 した結果,実際に生産効率や品質管理向上の効果が見ら れ始めている。

今後も、AI-factのさらなる進化と機能強化を続け、生 産工程の課題解決に取り組むとともに、スマートファク トリー化の最終形態に向けた活動の各ステップで画像検 査システムとしての役割を果たす。

参考文献

 小野「スマートファクトリーの実現」、サンケン技報 Vol.55、P46-50

 (2) 新島「石川サンケン堀松工場 B 棟におけるトレーサビリ ティシステム導入」、サンケン技報 Vol.55、P46-50

スマートファクトリー推進における 設備マニピュレーションシステムの開発

Development of Equipment Manipulation System for Smart Factory Promotion

田中裕之* Hiroyuki Tanaka

概要 近年,激しく変化するビジネス環境において,企業競争力の維持・獲得・強化を果たすために, 当社が取り組んでいるDX (Digital Transformation) 推進の最重要項目として生産工場のスマートファ クトリー化がある。スマートファクトリー推進における自動流動を実現するにあたり,設備のパラ メータデータや稼働データおよび,品質データなどを吸い上げてチェックシートへの自動転記やそ の結果から稼働可否を判断することが必須である。しかし,データ収集 (IoT) 非対応の設備や一部の データについては,設備仕様上,これらのデータの吸い上げができない状態である。これらを対応 可能な独自のシステムとして,自動流動可能な生産システム基盤を構築したので報告する。

1. まえがき

近年、様々な企業が膨大なデータとデジタル技術を活 用した業務改革や企業風土改革を推進し、持続可能なビ ジネスを展開するために、DX (Digital Transformation) を進めている。当社においてもビジネス環境の激しい変 化に対応するために、データとデジタル技術を活用して ビジネス、業務、企業文化などの変革を成し遂げるべく DX推進に取り組んでいる。

製造業者である当社において,DX推進の最重要項目 となっているのが,生産工場のスマートファクトリー化 である。

当社では従来より生産ラインの自動化や工程改善など で品質向上や生産性向上を実施してきた。新たにIoT (Internet of Things) 技術を活用し、様々なシステムと 情報連携することで、工程の最適化または、最適な生産 を柔軟に実施していく。これにより、さらなる品質向上 や生産性向上だけではなく、仕掛在庫削減や納期短縮、 間接業務効率向上などに寄与することで、当社の市場競 争力を高めるべく、取り組みが実施されている。

2. パッケージロードマップ

現在展開中および,今後展開予定の2029年までのパッ ケージロードマップを図1に示す。

高電力密度パワーモジュールについては,DSK (大連 サンケン) および,NSK (新潟サンケン) にて量産中であ り,小型高放熱基板モジュールについては,ISK (石川 サンケン) 堀松工場B棟にて量産中である。いずれの生 産工場 (製造ライン) においても,スマートファクトリー 化を推進中である。



*ものづくり本部ものづくり開発センター

先進技術推進センタースマートファクトリー推進課

3. スマートファクトリー概要

当社で取り組んでいるスマートファクトリーの概要に ついて述べる。

当社におけるスマートファクトリーとは、図2に示 すように、ITインフラや各種データを始めとする、デ ジタル技術の利活用によって、ビジネスプロセスの改革 を目指すものである。

アプローチとしては、①生産ライン改革と②業務プロ セス改革の2本柱である。前者では直接業務を主とした 生産ラインの自動化・画像化・IT化による、品質向上 や生産性向上および、原価低減を図る。後者では間接業 務を主としたITデータの利活用による、必要データの 即時取得とそれによる間接業務のPDCAサイクルおよ び、決定判断の迅速化を図る。

直接業務において,生産ライン改革を実施しながら, 各種データを収集している。その収集したデータを間接 業務において利活用することで,抜本的な業務改善を実 施している。最終的に相互間で連携しながら,これまで にない生産改革を果たすことを目的としている。





4. スマートファクトリーロードマップ

生産工場のスマートファクトリー化を推進していくう えで,**表1**に示すように,スマートファクトリー9ステッ プ活動をベースとして取り組んでいる。大きく分けて データの収集・蓄積・利活用が挙げられる。

初期ステップではシステム単体で運用可能なものから スタートしており、ステップが上がる毎に前ステップで 完成したシステムを組み合わせることで、人に頼らない 生産ラインの実現を目指している。

スマートファクトリー化により,自動流動や遠隔操作, さらに工程データを用いた設計の効率化などを図る。 そのためには、安定した製品品質のもとで、生産性向

表1 スマートファクトリーロードマップ

展開	定義	取り組み内容	
Step9	ビックデータ展開	工程のビックデータを他のシステムへ展開(IoT) 生産ライン改革、プロセス改革、DX、遠隔操作	
Step8	自動流動	LOT廃止、個片管理流動	
Step7	工程コントロール	ライン制御及びオペレーション指示	
Step6	予知・予測	製品不良・設備故障の未然防止 予測によるスケジューリング及びフィードパック	
Step5	生産システム連携	データ入出力処理等のデータ相互活用	
Step4	自動化	部材及び製品搬送の自動化(AGV) 官能検査の自動化(画像)	
Step3	データ分析活用	可視化, トレーサビリティ管理、工程改善 可視化、新製品/ライン設計、品質改善	
Step2	設備データ収集	設備データのデータベース化 キューブ型データベースによるSGデータの収集	
Step1	ペーパーレス	紙廃止、データベース化、電子化	

上を実現したうえでの,生産ラインの自動制御に必要な 各種データの「自動収集」が必須となる。

本システムの開発に至る背景 (Step8自動流動の課題)

前項で述べたように、当社のスマートファクトリー推 進における目的を果たすうえで必須となるアイテムが、 生産ラインの自動制御に必要な各種データの「自動収集」 である。

Step8自動流動のありたい姿を図3に示す。生産設備, 品質確認,データ蓄積,BIツール,人という5つの観 点から見たデータの流れを示している。設備のパラメー タデータや稼働データおよび,品質データなどを自動で 吸い上げて,チェックシートへの自動転記やその結果か ら稼働可否を判断,生産ラインを自動制御することが必 須である。



図3 Step8 自動流動のありたい姿

しかし,現状の姿は図4に示すように,データ収集 (IoT)非対応の生産設備やデータが存在している。人が 介在することで,該当データを確認⇒電子媒体に手入 力⇒入力内容確認⇒データ転送という流れで,データ

サンケン技報 vol. 56 (2024)



図4 Step8 自動流動を実現するうえでの現状の課題

収集行為をマニュアルでおこなっている。

生産設備の仕様上,これらのデータの自動収集ができ ない状態なので,データの自動収集が可能な仕組みやシ ステムの構築が必須となる。以上の背景をもとに独自の データ収集システムを開発した。

6. 本システムの検討

本システムの検討内容を以下に示す。

6.1. 設備の仕様変更での検討

表2に示すように,設備の仕様自体を変更すること で、データ抽出ができないか検討を実施した。

結論としては,設備側の制約上,設備に手を加えるこ とが困難であり,この方式では実現性が低いとの判断に 至った。設備に手を加えずに実現可能な別案を検討する こととなった。

	検討案	設備改修	総合判定
設備の 仕様変更	設備自体にデータ 抽出機能を追加	× 改修NG	×
	装置モニター画面を スクレイピング *1	× ソフト追加NG	×
	装置モニター画面を Screen Shot +OCR処理 *2	× ソフト追加NG	×

表2 設備の仕様変更での検討

 *1:画面スクレイピング ⇒ 実行中のアプリケーションから画面上のテキストを抽出する事。
 *2: OCR ⇒ Optical Character Reader (光学的文字認識)の略で、 画像データのテキスト部分を認識し、文字データとして抽出する事。

6.2. カメラ撮像方式での検討

次に,図5に示すように,カメラ撮像方式での検討を 実施した。

当方式の流れは、装置モニター画面を外部カメラにて 撮像し、撮像した画像データに画像補正および、OCR 処理を施し、テキストデータを抽出するというものであ



図5 カメラ撮像方式での検討

る。装置モニター前面に外部カメラを設置することで、 外見上もさることながら、作業性の低下が懸念される。 また、カメラの汚れや反射などによるOCR認識精度の 低下も懸念される。さらに別案を検討することとなった。

6.3. モニター分配+画面キャプチャー方式での検討

当案は別案の模索中に何気ない日常生活からヒントを 得て,アイデアを出した内容である。

写真1は、一般的に普及している映像コンテンツ配信 プラットフォームを使用した、ゲームライブ配信の様子 である。

ゲームモニター画面に映し出された映像と同じ映像を 配信用PCに映し出し,配信用ソフトを介して配信プラッ トフォームに配信することで,視聴者が閲覧できる仕組 みとなっている。



写真 1 ゲームライブ配信の様子 (生成 AI エンジン Microsoft Copilot にて作成)

これを応用して、以下のようなシステムを考案した。 システムの流れは、装置モニター画面を配信用PCに映 し出し、映し出された画面を画像データ化し、画像補正

サンケン技報 vol. 56 (2024)

および、OCR処理を施し、テキストデータを抽出する というものである。当方式で問題が解決できると推測, さらに深掘り検討を実施した。

図6に映像コンテンツ配信手法の概要,図7に映像 コンテンツ配信手法を参考にして、システム構成を検討 した結果を示す。

まず,モニター分配器を介して,装置モニター画面を 分配する。次にキャプチャーボート,配信用ソフトを介し て,画像解析処理装置に画面キャプチャーする。映し出 された画面を画像データ化し,画像補正および,OCR処 理を施し,テキストデータを抽出するというものである。

当案の利点としてはカメラレスによる外見上のスマートさおよび、汚れ・反射などの影響を受けないOCR認 識精度の安定化が挙げられる。また、汎用機器類や内製 ソフトを活用することで、低コスト化も実現可能であり、 検討案を具現化するべく進めた。





図7 モニター分配+画面キャプチャー方式での検討

7. 本システムの概要

具現化した,本システムの概要を以下に示す。

7.1. システム構成と動作フロー

本システムは、図8に示すように、データの抽出および、OCRエンジンによる文字認識にて構成されている。

データ抽出については、データ抽出が不可であり、か つ、設備側の制約上、ユーザー側で手を加えることがで きない設備が対象である。一般的に普及している映像コ ンテンツ配信プラットフォームで採用されている、映像 コンテンツ配信手法を応用して設備モニター画面をキャ プチャーする。得られた画面の画像データに対し、最適 な汎用OCRエンジンを使用し、最適な画像補正を施す ことで、文字認識精度を向上させ、デジタルデータとし て、データ抽出を可能としている。



図8 システム構成と動作フロー

7.2. OCRエンジンの選定

OCRエンジンを選定する際には、いくつかの重要な ポイントがあり、まず最重要なのは認識精度である。エ ンジンが特定の文字セットやフォーマットでどれだけ正 確に文字を認識できるかを確認することが重要である。 また、対象とする言語への対応も重要で、特に日本語や 他の非アルファベット文字に特化したサポートが必要な 場合には注意が必要である。

処理速度も重要であり、大量のデータを迅速に処理で きるかどうかは、特にリアルタイム処理が求められる場 面で重要な要素となる。さらに、対象となるドキュメン トのフォーマットにエンジンが対応しているかも選定の 際には確認が必要である。

構築環境については、エンジンが他のシステムやアプ リケーションと容易に統合できるか、API (Application Programming Interface) やSDK (Software Development Kit) が提供されているか、設定やカスタマイズがしやすいか、 ネットワーク環境が必要かどうかも重要なポイントとなる。

ライセンス形態とコストに関しても,初期費用だけで なく継続的なサポート費用や利用量に応じた運用コスト が発生するかを総合的に考慮することも必要である。

こうした点を総合的に評価して,最適なOCRエンジンを選定することが必要であり,いくつかのOCRエンジンを候補として挙げて,選定を実施した。

選定した結果,**表3**に示すように,「G社 OCRエンジン」を本システムに導入することとした。

OCR エンジン	文字認識 精度	コスト	処理 速度		構築環境	総合 判定
①A社 OCR Engine	0	有料 (WebApp)	\bigtriangleup	×	NW環境が必要	×
②B社 OCR Engine	0	有料 (WebApp)	\bigtriangleup	×	NW環境が必要	×
③C社 OCR Engine	0	無料 (WebApp)	×	×	NW環境が必要	×
④D社 OCR Engine	0	無料 (Lib)	×	\bigtriangleup	環境設定が容易	\bigtriangleup
⑤E社 OCR Engine	\bigtriangleup	無料 (OSS)	\bigtriangleup	\bigtriangleup	環境設定が複雑	\bigtriangleup
⑥F社 OCR Engine	0	無料 (OSS)	\bigtriangleup		環境設定が複雑	\bigtriangleup
⑦G社 OCR Engine		無料 (API)		0	環境設定が容易	0

表3 OCR エンジンの選定

7.3. キャプチャー画像の最適化

OCRエンジンに入力する画像の品質が悪い場合,期 待する性能が発揮できない。図9に示すように,OCR エンジンに入力する前段階でキャプチャー画像の補正な どをおこない,最適化することで,汎用OCRエンジン での認識精度を大幅に向上させている。

✓画像サイズ設定

画像のサイズを適切に調整することで,文字がより鮮 明に表示され,認識しやすくなる。

- ✓画像解像度設定 画像の解像度を適切に調整することで、文字がより鮮 明に表示され、認識しやすくなる。
- ✓二値化

カラー画像やグレースケール画像を二値化(白黒)の 画像に変換することで、文字の輪郭をはっきりさせ、 文字が認識しやすくなる。

√マスク処理

ノイズや不要な情報が含まれる領域を除外すること で、文字が認識しやすくなる。

✔歪み補正

OCRエンジンは歪んだ文字を認識し難いので、歪み を補正することで、文字が認識しやすくなる。

- ✓コントラスト補正 文字と背景のコントラストを強調することで、文字が 認識しやすくなる。
- ✓ノイズ除去 画像中の不要なノイズを除去することで、文字部分が より明確になり、文字が認識しやすくなる。
- ✓余白除去

ノイズや不要な情報が含まれる領域を除外すること で、文字が認識しやすくなる。



図9 キャプチャー画像の最適化

7.4. 実機での検証

実機での検証の様子を**写真2**に示す。実際の生産設 備を使用して検証をおこない,抽出されたテキストの精 度を確認し,必要に応じてマスクの位置や大きさを調整 した。また、大規模なデータセットに対する処理速度を 観察し、ノイズや誤認識に対して、どの程度の誤差がで るかを評価した。必要に応じてフィードバックをもとに アルゴリズムやマスクの設定を微調整し、画像品質によ るバリエーションに対応するために、適応的な閾値処理 なども追加導入した。

以上のように実機での検証を経て,汎用性や各種制約 および,導入・運用コストなどを精査し,正式に導入す る運びとなった。



写真2 実機での検証

8. むすび

今回,当社で実施している生産工場のスマートファク トリー推進活動における,設備マニピュレーションシス テムについて,概要を述べた。

表題の「設備マニピュレーションシステム」は,設備 データの抽出や入力確認作業といった「人による設備の 操作を自動化する」ことに由来している。

本システムの開発により、従来、作業者がおこなって

いたデータ入力および,データチェック作業の大幅な自 動化に目途が立った。

さらに、本システムは、既存の設備に低コストかつ、 容易に導入可能なデータ抽出手法なので、従来の製造装 置への展開が期待できる。これにより、水平展開可能な スマートファクトリー化に向けた基盤技術を確立したと いえる。

全ての設備データの自動収集に目途が立ったことで,

残るデータ入力は作業者の作業確認チェックのみとなる。 これについては、まず本システムを先行導入した石川 サンケンとの協業により、当該項目の見直しをおこない、 項目の大幅削減に取り組む。

また、石川サンケン堀松工場B棟の一部工程では、ス マートファクトリー推進9Step活動の『Step8自動流動』 の実証実験を既にスタートしており、今後はその実現に 向けて、さらに加速させ、取り組んでいく。

主力製品
パワーモジュール
IPM
モータドライバIC
パワーデバイス
車載IC
電源IC
デジタルIC
ディスクリート
LED

©2024 Sanken Electric Co.,Ltd. 禁複製転載

			サ	ン	ケ 第5	ン 6巻	技	報				
							2	024 4	羊 11	月 20)日多	紀行
編集	兼発	行人					福		田	光	i	伸
発	行	所	サ	$\boldsymbol{\nu}$	ケ	$\boldsymbol{\Sigma}$	電	気	株	式	슻	社
			₹3	52-8	8666	埼∃	ミ県 洋	新座	市北	:野3	-6	-3
			UR	L	http	s://	wwv	v.sai	nker	n-ele	.co.	jp/
						電	話 0	48 (4	172)	1111	(代	表)
印	刷	所	有	限	슻	社	力 .	ムミ	/ _	- IJ	ン	グ
			T 3	59-0	0011	埼玉	[県戸	f沢ī	市南:	永井	570	-3
						電	話 0	4 (29	944)	1381	(代	表)

サンケン技報編集委員会

委員長		福	田	光	伸	
委	員	李		明	濬	
		赤	石	和	夫	
		原	田	裕	介	
		荘		裕	信	
		志	賀	利	貴	
		松	元	貴	志	
		半	貫	恵	司	
		大	畑	典	久	
		志	摩	陽-	一郎	