

ベンチャービジネス (第4回)

ブルックマンテクノロジー

～大学発・半導体・地方創生モデルベンチャーの挑戦～

本記事関連動画を
ホームページで公開中!
www.ite.or.jp

(正会員) 青山 聡†

1. まえがき

筆者が本誌で当社の紹介をするのは、実はこれが2回目になります。前回、大学発ベンチャービジネス/第9回のコラムとして寄稿させていただいたのが、2010年。当時はまだ起業して4年、私が代表取締役に就いてすぐのときでした。

あれから8年、会社設立からは12年が経ち、その間苦労しながらも、企業として、また私自身代表としていろいろな挑戦を行い、多くの経験を積むことができました。本稿では当社のこれまでの取り組みとその成果、そして今後についてご紹介させていただきます。

2. Stage 0 (ゼロ) :

光の尖端都市・浜松からの起業

テレビジョンの父と呼ばれる静岡大学の高柳健次郎博士が、ここ浜松の地で初めてブラウン管に「イ」の字を映し出

してからちょうど80年後、2006年に株式会社ブルックマンテクノロジー(設立時の会社名はブルックマン・ラボ)は誕生しました。静岡大学電子工学研究所の川人祥二教授が、文部科学省のプロジェクトである「浜松地域知的クラスター創成事業」(2002年～2006年)での研究成果を基にして創業した大学発ベンチャー企業です。設立から一貫して、高性能CMOS型イメージセンサに特化した開発を事業として続けています。

筆者らの開発するイメージセンサというデバイスは非常に特殊な半導体製品です。自然界の情報を取り込むための入力デバイスは、世の中に数多くありますが、画像という形で一度にこれだけ多くの情報を取り込めるものは、イメージセンサにおいて他にありません。だからこそ、そのニーズは多様で、応用範囲も広いのです。しかも今は、CMOSという最も汎用的でコストメリットの得られる技術を使って作ることができます。図1は、昨今におけるイ

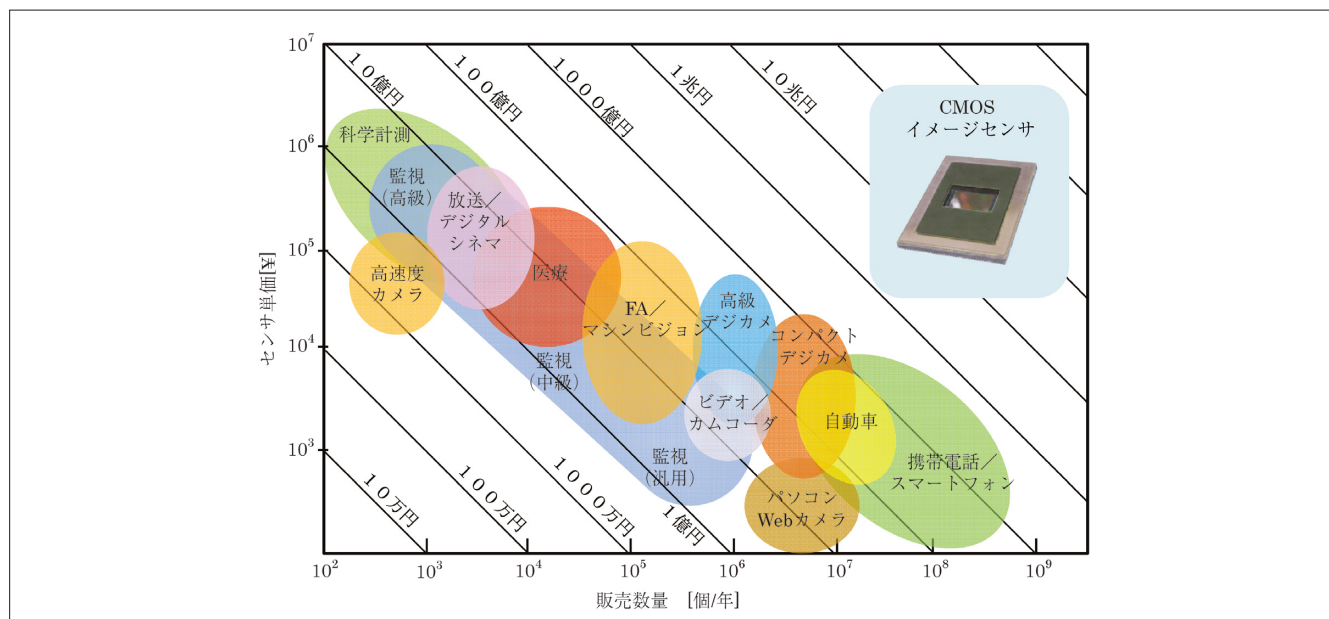


図1 イメージセンサの年間販売数量と単価イメージ

† 株式会社ブルックマンテクノロジー

"Start-Up Businesses (4); Brookman Technology, Inc.: A university-originated venture's challenges for semiconductor business and regional revitalization" by Satoshi Aoyama (Brookman Technology, Inc., Shizuoka)



イメージセンサの応用別の年間販売数量と単価、市場規模をイメージした図です。出荷数量で見ればスマートフォン向けが圧倒的ですが、それ以外にもさまざまな分野でたくさんのイメージセンサが使われていることがわかります。そして筆者らがビジネスとして注目している点は、このデバイスに必要とされる要求性能が、アプリケーションによってまったく異なるという点です。

CMOSイメージセンサは、光を電気信号に変換する「画素」と呼ばれる光電変換部と、そこから得られるアナログ電気信号を取り扱う周辺回路部に大きく分けられます。とりわけ、周辺回路部の中でも、アナログ信号をデジタル信号に変換する「A/D変換回路」は最も重要なキープーツと言われています。筆者らはイメージセンサの核となる「画素」設計技術と、イメージセンサの性能を十分に引き出すための低ノイズアンプや「A/D変換回路」などのアナログ回路に独自技術を持ち、他社との差別化を図っています。川人教授による特許に裏付けされたこれらの独自技術は、当社の強みであり、ビジネスの根幹でもあります。こうした基本技術に加えて、アナログ技術のかたまりであるイメージセンサの実用化には、設計における技術やノウハウの相当な蓄積が必要です。別の見方をすれば、技術を蓄積すればするほど、市場での競争力を高めることができますとも言えます。実際にイメージセンサの性能を高めるプロセスを突き詰めていくと、ノイズとの地道な戦いに辿り着きます。一言でノイズといってもさまざまな種類のノイズが存在し、その原因もまちまちです。また、分布を持って存在するノイズは完全に消し去る（ゼロにする）ことができません。それらを抑えることはとても難しく、我慢強く取り組み続けなければ成果は出てきません。“低ノイズ”という結果の裏には、筆者らがチャレンジしてきたたくさんのノウハウが詰まっています。

さらに、CMOSイメージセンサの「画素部」における基本性能を高め、それを安定して作るためには、製造工場との密な連携が不可欠となります。これを、工場を持たないファブレスメーカが成し遂げることこそが筆者らのチャレンジであり、モチベーションにもなっています。

3. Stage 1：受託事業による技術力の醸成

当社が設立された2006年前後、日本の半導体業界は最も厳しい状況でした。どの企業（当社のお客様）も不況のあおりを受け、社内の予算確保に苦勞していました。当社の側も、まだ技術の実績・認知度もなく、なかなか長く継続する大きな仕事をいただけませんでした。それでもあきらめず、地道に開発案件をこなし続け、結果を出していくことで、少しずつお客様がついてくるようになりました。ありがたいことに、当社の技術を認めていただいたお客様から、知り合いのお客様を紹介していただけるケースも出てきました。

受託事業における当社の強みは、CMOSイメージセンサのカスタマイズ技術にあります。とりわけイメージセンサの開発では、感度、フレームレート、ダイナミックレンジ、解像度、光学サイズ、消費電力…といった多くの要件に配慮して設計する必要があります。また、これらの性能には必ずトレードオフが存在し、それぞれが複雑に絡み合っています。筆者らは一つ一つの性能を上げながらも、そのようなトレードオフの影響をいかに小さく、少なく抑えられるかという点に注意しながら、可能な限り良いバランスでチューニングしていきます。こうした性能要求の高い案件に応え続けることで、筆者らも技術の研鑽を積むことができています。特に当社にとって大きな転機となったのが、2010年からNHK放送技術研究所（以下、NHK技研）、静岡大学と共同で行った8Kスーパーハイビジョン向けイメージセンサの開発でした。そこで出された要求性能は、当時、世界のどのメーカーも手が出せないような難しい仕様でした。加えて、東京オリンピック開催の決定により、開発スケジュールが前倒しとなる中、実に5年間で、製造工場・プロセス世代の異なる試作を4度行うという大変な苦勞を経ながら、最終的には何とか放送用カメラとして使っていただけるまでに仕上げることができました（図2）。そして開発を成し遂げ、結果を残せたことで業界内外から大きな信用を得ることができ、これを機に当社の技術を使った製品の実用化を望む依頼も多く舞い込むようになりました。

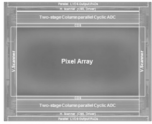
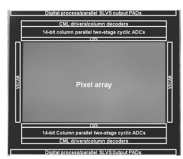
チップ写真				
開発時期	2010年～2012年	2012年～2014年	2014年～2015年	2013年～2016年
製造プロセス	0.18um1P4M	0.11um1P4M	45nm1P4M + 65nm1P5M (3D-Stack)	90/65nm1P5M
画素サイズ	2.8um□	2.8um□	1.1um□	3.2um□
光学サイズ	3/2inch	3/2inch	(2/3inch)	Super35mm
主な発表論文	ISSCC2012 ¹⁾ IEEE Electron Devices 2012 ²⁾	映像情報メディア学会技報(2013) ³⁾	ISSCC2016 ⁴⁾ IEEE Electron Devices 2017 ⁵⁾	IISW2015 ⁶⁾

図2 NHK放送技術研究所と共同開発した8Kスーパーハイビジョンセンサの数々



また、本開発は学術的にも注目され、NHK技研の方々を筆頭として積極的に学会発表^{1)～6)}を行った結果、国内外でその技術的進歩性を認めていただき、ウォルター・コンソキー賞や丹羽高柳賞論文賞といった権威ある賞を受賞することができました。改めて、本共同開発のきっかけを作っていただいたNHK技研の大竹 浩上級研究員、開発と性能改善に向けて共同で取り組み、多くの議論を重ね多大なご協力をいただいた同研究所の島本 洋部長をはじめとする研究者の方々、そして厳しい要求にも我慢強く取り組み、応えてくれた当社エンジニア諸氏に感謝を申し上げます。

創業時から続けているイメージセンサの受託開発は、当社事業の土台であり、設計技術を醸成していく上でも、今後も続けていきたいと思っています。

4. Stage 2：製品開発・販売事業への挑戦

一般に、一つの半導体チップの開発には3年・3～5億円という時間的・経済的コストがかかると言われています。いつか自社製品となるセンサを世に出したい、との思いは強かったものの、資金の乏しいベンチャー企業にそこまでの経営体力はなく、国家プロジェクトなどに応募しながら製品開発できる道を探るしかありませんでした。幸いなことに、2009年に「超高感度高速度イメージセンサ」の開発がJST（科学技術振興機構）プロジェクトに採択され、資金支援を受けながら技術開発を進めていくことができました。そして、これがきっかけとなり現在のさまざまな製品につながっていきます。しかし最終製品として販売できるまで仕上げるにはさらなる追加の費用がかかり、その資金確保にはとても苦労しました。ファブレス企業にとって、高性能イメージセンサの開発過程に必要な製造プロセスの合わ

せこみは難しく、また量産時には、その歩留まりの低さから、安定供給までに時間がかかることで、数億円規模の資金を確保しておく必要がありました。2010年から2011年にかけては、資金調達のため融資先、出資先を求めて、さまざまな銀行、ベンチャーキャピタル、支援団体、事業会社など数十社を回りました。当時はニッポン半導体凋落の悪いイメージばかりが残り、またリーマンショック、東日本大震災といった外的要因も少なからずあったと思いますが、筆者らのやりたいことをうまく事業計画に落とし込んで説明することができず、日々不甲斐無さを感じていました。その後、2012年に何とか大きな融資を受けられるようになってから、いろいろなことがうまく回りだしました。危機は脱しましたが、開発スピードが重要な半導体業界にあって、貴重な時間を失ってしまったという悔しさは今も残っています。

自社製品事業においては、開発だけでなく販売でも苦労をしました。技術はあっても製品量産・販売の実績がないことで与信（商取引において取引相手に信用を供与すること）が得られず、採用を見送られることも何度かありました。それでも、展示会への継続した出展など地道な活動を続けた結果、少しずつ採用していただけるお客様が増えていきました。

今では三つの異なる種類の自社製品を販売しています（図3）。一つは超高速イメージセンサ「BTAシリーズ」。前述したJSTプロジェクトの技術がベースとなっています。生活環境程度の光量においても超高速撮像が可能で、しかも低ノイズ、低消費電力を実現しました。カメラを小型化できるため、FA、バイオ、医療、スポーツ、生態観察、製品検査など、これまでのハイスピードカメラではできな

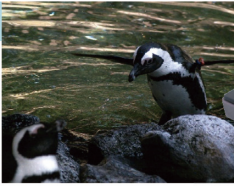
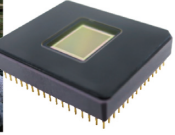
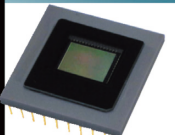
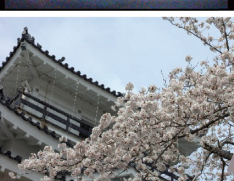
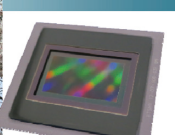
High Speed 電子シャッター機能を持ち、1800コマ/秒でも明るいハイビジョン映像が取得可能な超高速イメージセンサ 低ノイズ・低消費電力で、カメラを小型化できるため、従来のハイスピードカメラよりも、より多くの用途に適用可能です。	 BT033/130A 
High Sensitivity 月明かり（0.1ルクス）程度の暗さでも被写体の色と動きを鮮明に捉え、また明るい部分も白飛びなく撮影できる、超高感度性能と広Dレンジ性能を同時に実現するイメージセンサ 監視や科学計測などの用途に適しています。	 BT130/200C 
High Resolution 8Kスーパーハイビジョンのフルスペック規格に世界で唯一対応する超高解像度イメージセンサ 圧倒的な高解像度と120コマ/秒動作により、これまでにない高い臨場感を実現可能です。	 BT3300N 

図3 ブルックマンテクノロジー社製品の紹介



かった多くの用途に適用できます。二つ目は、超高感度イメージセンサ「BTCシリーズ」。ノイズが非常に小さく、月明かり程度の暗がりでも鮮明なカラー映像を取得できるため、監視や科学計測などの用途に適しています。三つ目は、超高解像度イメージセンサ「BT3300 N」。前節で述べたNHK技研との共同開発成果であり、当社で販売実施許諾をいただいた製品です。世界で初めて、8Kで120 Hzというスーパーハイビジョンのフルスペック規格に対応し、放送カメラ向けに開発されたセンサですが、最近では内視鏡システム⁷⁾にも採用され、“8K”の他分野への応用も進み始めました。

5. これからの挑戦 新しいStageへ

当社は、代表取締役会長でもある静岡大学/川人教授の研究室と連携することで、高度なR&D機能を確保していま

す。この連携により、大きな研究開発費用を捻出できない中でも、将来実を結ぶ可能性のある技術シーズの保有が可能となり、新製品の開発につなげています。

現在新しい製品として力を入れているのは、CMOS技術を用いたToF (Time-of-Flight) 距離イメージセンサです。光の到達時間から距離を計測するToFセンサは、複雑な計算なしに距離 (Depth) 情報を取得できることが最大の特徴です。しかもCMOSならば、「面」で広い範囲の距離情報を一度に捉えることができます。川人教授が2002年から本格的に研究開発を続けてきたデバイスですが、ここ数年、新しいアイデアや技術の導入によって実用化可能なレベルにまでなってきました^{8) 9)}。これらの技術を活用した当社のToFセンサは、他社従来品に比べて高速応答性と外光耐性に優れていることが特長です。筆者らはその技術をDALS (Dynamic Ambient Light Suppression) ¹⁰⁾と呼んでいます。

	Dimensions	116mm x 107mm x 70mm (Camera unit only)
	Weight	550g (Camera unit only)
	Depth sensor	BT-ToF 3D depth CMOS image sensor
	Measurement range	0.1 ~ 4m
	Frame rate	10fps, 30fps(typ.) and 60fps
	Acquisition time of per frame	28.8 msec @30fps
	Number of pixels	328(H) x 247(V) pixels
	Illumination	VCSEL x 2 (Wavelength: 850nm)
	Illumination power	Peak: 1.2W/VCSEL Average: 39mW/Camera
	Depth resolution	<1% of distance @ 4m**
	Field of view	60(H)° x 45(V)°
	Lens mount	CS-mount
	Power supply	DC 5V / ≤3A
	Camera Interface	USB 3.0 x1
	Operation system	Windows 7/10 64bit OS

評価カメラ外観

評価カメラ仕様

図4 新しく開発したToFイメージセンサ用評価カメラ

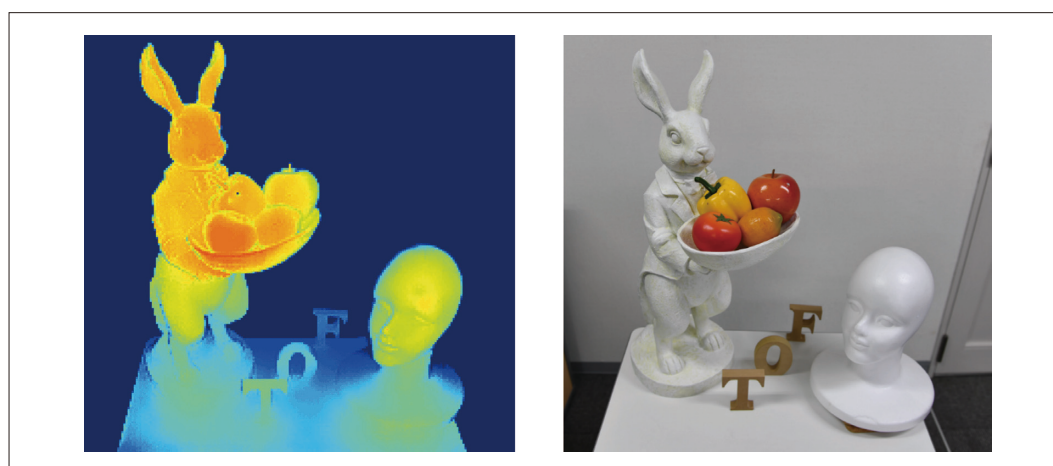


図5 新しく開発したToFイメージセンサによる距離画像例 (左) とデジカメによるRGB画像 (右: 参考)



永くToF方式による距離計測の課題と言われていた屋外でのリアルタイム距離計測を実現に導く技術としてプロモーションを進めています。すでに評価カメラを含めたサンプル出荷を行っており、今期内の製品化を目指しています(図4, 図5)。距離 (Depth) 情報は、VR/ARや自動車、ロボット、スマートフォンなどさまざまなアプリケーションで必要とされています。近く筆者らのデバイスがこれらの製品に使われるようになり、これからのIoT社会に貢献できる日が来ることを信じて、日夜技術開発を進めています。

会社設立から12年が経ち、やっと受託から本格的にモノづくりができる土台ができました。一方で、ToFというまったく新しいイメージセンサの製品化を控えた今、さらなる発展に向け、新たな資金調達や業務提携などの方法を探っています。会社として新たなステージへステップアップすべく、引き続きいろいろなチャレンジをしていきたいと思っています。

6. むすび

私たちはイメージセンサという半導体の部品メーカーです。この特殊な部品の開発には、高度なアナログ・デジタル回路技術だけでなく、光学・物性など物理限界への飽くなき挑戦も求められます。さらには、緻密な努力と経験の積み重ねがなければ、高い性能を得ることができません。そこにイメージセンサ開発の大きな魅力があり、だからこそ筆者らはこの部品にこだわり続け、その技術を磨き、高め、極めたいと思っています。図1で紹介した市場関係図は現時点のものです。これにToFセンサをはじめとしたセンシング用途としてのイメージセンサが加わった時、この図はまた違ったものになるはずです。イメージセンサメーカーとして、その図の中に深く関わっていけるよう、究極の

ハードウェア開発に向けた準備と挑戦をこれからも続けて行きたいと思います。

(2018年5月6日受付)

〔文 献〕

- 1) T.Watabe, et al: "A 33Mpixel 120fps CMOS Image Sensor Using 12b Column-Parallel Pipelined Cyclic ADCs", ISSCC (Feb. 2012)
- 2) K. Kitamura, et al: "A 33-Megapixel 120-Frames-Per-Second 2.5-Watt CMOS Image Sensor with Column-Parallel Two-Stage Cyclic Analog-to-Digital Converters", IEEE Trans.ED (Dec. 2012)
- 3) 安江ほか: "フレーム周波数120Hzスーパーハイビジョン用イメージセンサの高感度化", 映像学技報, 37, 27, IST2013-28, ME2013-70 (2013)
- 4) T. Arai, et al: "A 1.1 μ m 33Mpixel 240fps 3D-Stacked CMOS Image Sensor with 3-Stage Cyclic-Based Analog-to-Digital Converters", ISSCC (Feb. 2016)
- 5) T. Arai, et al: "A 1.1- μ m 33-Mpixel 240-fps 3-D-Stacked CMOS Image Sensor with Three-Stage Cyclic-Cyclic-SAR Analog-to-Digital Converters", IEEE Trans.ED (Dec. 2017)
- 6) T. Yasue, et al: "A 14-bit, 33-Mpixel, 120-fps Image Sensor with DMOS Capacitors in 90-nm/65-nm CMOS", IISW (June 2015)
- 7) <http://kairos-8k.co.jp/>
- 8) S.M. Han, et al: "A 413 $\times$ 240-Pixel Sub-Centimeter Resolution Time-of-Flight CMOS Image Sensor with In-Pixel Background Canceling Using Lateral-Electric-Field Charge Modulators", ISSCC (Feb. 2014)
- 9) T. Kasugai, et al: "A Time-of-Flight CMOS Range Image Sensor Using 4-Tap Output Pixels with Lateral-Electric-Field Control", IS&T Int. Sympo. On Electronic Imaging (2016)
- 10) <https://youtu.be/AJz6LEeqsYs>



あおやま さとし
青山 聡 1996年、大阪大学基礎工学研究科物理系博士前期課程修了後、(株)日立製作所、オックスフォード大学客員研究員などを経て、2006年、(株)ブルックマンテクノロジー(旧ブルックマン・ラボ)入社。2007年、静岡大学電子科学研究科博士課程修了。2010年より、(株)ブルックマンテクノロジー代表取締役、博士(工学)、正会員。