



Energy Harvesting

FRL Annual Report

2012 年 創刊特別編

ふじわらロスチャイルドリミテッド

目次

1	はじめに	11
2	エグゼクティブサマリ	13
2.1	市場立ち上げで欧米に 10 年遅れる日本	13
2.2	日本に訪れている転機と商機	13
2.3	急拡大する日本市場.....	14
3	エネルギーハーベスティングの分類と適用範囲	16
3.1	エネルギーハーベスティングの適用範囲	16
3.2	エネルギーハーベスティングの分類	16
4	エネルギーハーベスティングの現状と将来	18
4.1	先行する欧米の動向	18
4.1.1	欧米の市場動向概要.....	18
4.1.2	EnOcean 応用例.....	18
4.1.3	その他応用例.....	19
4.1.4	欧米の関連団体とその動向	20
4.2	主なアプリケーションと市場の動向・規模.....	20
4.3	技術上の課題と研究開発動向.....	22
5	エネルギーハーベスティングのポテンシャルアプリケーション	24
5.1	M2M (Machine to Machine)	24
5.2	WSN (Wireless Sensor Network).....	26
5.2.1	ビルディングオートメーション	28
5.2.2	工業プロセス設備のモニタリング等.....	29
5.2.3	社会インフラ／自然環境のモニタリング	31
5.3	自動車／航空宇宙.....	33
5.3.1	TPMS (tire pressure monitoring system)	33
5.3.2	その他の自動車／航空宇宙用エネルギーハーベスティング	35



5.4	家電・電子機器製品.....	35
5.5	ヘルスケア・医療.....	36
5.6	運動エネルギーの回収と小型電子機器の充電.....	38
5.7	スマートメータ/スマートグリッド/HEMS/ホームネットワーク.....	39
5.8	その他 軍事用途等.....	40
6	エネルギーハーベスティングの日本における可能性.....	41
6.1	環境対応における可能性.....	41
6.2	安心・安全な社会への貢献.....	41
6.3	民生機器分野/ヘルスケア・医療/その他の可能性.....	42
6.4	日本におけるエネルギーハーベスティング拡大の留意点.....	42
6.5	種類別日本市場規模予測.....	43
6.6	仮定としてのエネルギーセービング効果(参考).....	45
7	エネルギーハーベスティングの基本技術.....	46
7.1	はじめに.....	46
7.2	Energy Harvesting WSN Module の構成要素.....	46
7.3	エネルギーハーベスティング 発電デバイス.....	48
7.3.1	太陽光発電デバイス.....	49
7.3.2	電磁式(人力によるスイッチ類).....	52
7.3.3	圧力・振動による発電デバイス.....	53
7.3.4	熱による発電デバイス.....	55
7.4	Energy Storage.....	57
7.5	Power management/Booster.....	59
7.5.1	Power management.....	59
7.5.2	Power Booster.....	60
7.6	Sensor.....	60
7.7	Micro Processor.....	62
7.8	DEVELOPER'S KIT.....	63

7.9	無線機器関連.....	65
7.9.1	各種無線方式の比較.....	65
7.9.2	EnOcean 規格.....	67
7.9.3	IEEE 802.15.6 (BAN).....	68
7.9.4	ZigBee 規格.....	69
7.9.5	ARIB 特定小電力無線局.....	71
7.9.6	スマートメータ用無線の業界団体「Wi-SUN Alliance」.....	72
7.9.7	Bluetooth low energy.....	73
7.9.8	ANT/ANT+.....	74
8	Energy Harvesting & Storage Europe 2012 報告.....	75
8.1	展示、セッション全体を通しての所感.....	75
8.2	キーノートスピーチから.....	75
8.2.1	IDTECHEX.....	75
8.2.2	ABB.....	77
8.2.3	VOLVO TECHNOLOGY.....	79
8.2.4	NEC ITALIA.....	80
8.2.5	TRW CONECT.....	82
8.2.6	MSX.....	82
8.3	個別セッション(抜粋).....	84
8.3.1	INFINIT POWERSOLUTIONS.....	84
8.3.2	MICROCHIP.....	86
8.3.3	ENERGY MICRO.....	89
8.3.4	MICROPELT/TEXAS INSTRUMENT.....	90
8.3.5	G24.....	92
8.3.6	SOLARPRINT.....	94
8.3.7	FRAUNHOFER IZM.....	95
8.3.8	AIST.....	96

8.3.9	NEXTREME THERMAL SOLUTIONS.....	97
8.3.10	ARVENI.....	100
8.3.11	ALGRA.....	101
8.3.12	ENOCEAN.....	103
8.3.13	IDTECHEX.....	104
9	エネルギーハーベスティング関連企業動向.....	106
9.1	業界団体とそのメンバー会社.....	106
9.1.1	エネルギーハーベスティングコンソーシアム.....	106
9.1.2	EnOcean Alliance.....	107
9.1.3	Energy Harvesting Network.....	120
9.1.4	Energy Harvesting Forum.....	126
9.1.5	ANT + Alliance Members as of May 3, 2012.....	128

図表

図 1-1	Technology Road Map Internet of Things (Wikipedia).....	12
図 2-1	エネルギーハーベスティング日本市場金額規模推移.....	15
図 3-1	エネルギーハーベスティングで何ができるのか.....	17
図 4-1	EnOcean のエネルギーハーベスティング技術施工例.....	19
図 4-2	Solar Back-Pack.....	19
図 4-3	2012～2017 年 アプリ別ポートフォリオ.....	21
図 4-4	MCU、無線の低電力化の傾向.....	23
図 4-5	Thermoelectric materials の進化(ZT).....	23
図 5-1	M2M のアプリケーションイメージ(早稲田大学大学院情報生産システム研究科).....	24
図 5-2	インターネット接続デバイス台数推移(MSDS March 2012 より).....	25
図 5-3	広域ユビキタスネットワークのサービス領域(NTT).....	26
図 5-4	戸田建設・村田製作所・山田照明による実証実験(戸田建設).....	29
図 5-5	環境発電ソース.....	30

図 5-6 TEGs、Kinetic、Photovoltaic harvesters	30
図 5-7 中央開発株式会社 防災モニタリングシステム施工例	32
図 5-8 環境計測・防災保全(日立製作所)	33
図 5-9 太平洋工業 電池内蔵 TPMS.....	33
図 5-10 Transense SAW device.....	34
図 5-11 ARVENI Batteryless TV remote control	36
図 5-12 村田製作所 指輪型パルスメータ	37
図 5-13 nPower PEG	38
図 5-14 3次元ジャイロ型発電器(東京大学 保坂研)	38
図 5-15 Military Energy Harvesting.....	40
図 6-1 自光道路鋏(びょう)	42
図 6-2 エナジーハーベスティング金額推移	43
図 6-3 WSN,M2M バッテリーレス Network	44
図 6-4 バッテリーレス WSN の電気代節約効果	45
図 7-1 Energy Harvesting System (WSN ノードの構成)	47
図 7-2 Energy Harvesting Source	48
図 7-3 エネルギーソースと発電量(概要)	49
図 7-4 太陽光発電の種類(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構より)	50
図 7-5 NEDO PV2030+におけるセル・モジュールの変換効率目標	50
図 7-6 G24 Innovations インドアパフォーマンス	51
図 7-7 EnOcean デバイスと発電量(EnOcean White paper January 2009)	52
図 7-8 EnOcean 電磁変換エネルギーコンバータ	52
図 7-9 PZT テクノロジ(MAGGITT 社資料より)	53
図 7-10 超小型ピエゾハーベスタ	54
図 7-11 マイクロマシン WSN ノード	54
図 7-12 静電型発電素子.....	54
図 7-13 TEG の ΔT とアプリケーション領域(Energy Harvesting&Storage Europe 2012)	55

図 7-14	Micropelt TEG	56
図 7-15	セイコー・サーミック	56
図 7-16	キャパシタと二次電池の比較.....	57
図 7-17	EnerChip™ Smart Solid State Batteries	58
図 7-18	電機二重層キャパシタの例.....	58
図 7-19	THINENERGY	58
図 7-20	Maxim MAX17710	59
図 7-21	Advanced Linear Devices Inc. EH4205 Voltage Booster Module.....	60
図 7-22	各種センシングデバイス.....	61
図 7-23	TI MSP430 MCU	62
図 7-24	各社の低消費電力 MCU プロダクトの例	63
図 7-25	ENOCEAN EOP 300	63
図 7-26	IPS (Infinite Power Solutions).....	64
図 7-27	アルティマ 環境発電 汎用評価キット	64
図 7-28	各種小電力無線方式比較図.....	66
図 7-29	EEP & ISO/IEC 14543-3-10(EnOcean press release).....	67
図 7-30	Energy harvesting wireless sensor network	67
図 7-31	BAN の応用.....	68
図 7-32	ZigBee Layer.....	70
図 7-33	ZigBee topology	70
図 7-34	Wi-SUN Promoters	72
図 7-35	Wi-SUN Collaboration with other organization	72
図 7-36	CASIO low energy.....	73
図 7-37	ANT デバイス.....	74
図 7-38	Beurer WM 80 - Weight Management-System	74
図 8-1	Automotive integration of energy harvesting	76
図 8-2	ABB Measurement products portfolio	77

図 8-3 Modular concept (ABB)	78
図 8-4 自動車用センサの例	79
図 8-5 エナジーハーベスティングの自動車応用における潜在的な利点	80
図 8-6 MRUS74S、MRUS74X	81
図 8-7 NEC Compact sensor for consumption detection	81
図 8-8 Hobs fitted with MSX Technology	83
図 8-9 PAN Nodes using MECs	85
図 8-10 Maintenance-free Wireless Sensor Node Construction	86
図 8-11 nanoWatt XLP アプリケーション例	87
図 8-12 Run current Reduction Trend	88
図 8-13 Energy Harvesters 例	88
図 8-14 Energy Sensitive Application	89
図 8-15 EFM32 パフォーマンス比較表	90
図 8-16 Wolverine's Improved power-performance	91
図 8-17 Available Energy Budget - Annually	91
図 8-18 Lean ESN Node Developmant	92
図 8-19 G24 Dye Sensitised Thin Film	93
図 8-20 SOLARPRINT SP5848	94
図 8-21 Competitive Landscape Indoors	94
図 8-22 Bendable Modules based on Back Junction Solar Cells	95
図 8-23 Technology Development : Lamination	95
図 8-24 Carbon nanotube (CNT) – polymer composite 熱電デバイス	96
図 8-25 NICT カーボンナノチューブ熱電デバイスの性能	97
図 8-26 熱電発電の市場予測	98
図 8-27 Thin-Film vs. Conventional Thermoelectrics	98
図 8-28 Thermo Energy Harvesting system schematic	99
図 8-29 NEXTREME 社の展示	99

図 8-30 ARVENI PULSE COMPETITIVEADVANTAGE.....	100
図 8-31 ALGRA 社の展示	101
図 8-32 ALGRA Piezoelectric switch 構造.....	101
図 8-33 ALGRA Dynamic Advantages	102
図 8-34 ENOCEAN 社の展示	103
図 8-35 Over 850 interoperable products	103
図 8-36 The Value Chain.....	105
図 8-37 Energy Harvesting Market in 2010.....	105
表 2-1 エナジーハーベスティング 世界と日本の市場金額	15
表 5-1 センサが感知する情報の例	27
表 5-2 Transense Licensees (Transense web page).....	34
表 6-1 エナジーハーベスティング 日本市場金額規模の予測	44
表 7-1 Energy Harvesting Estimates	46
表 7-2 低消費電力無線技術の比較表	65
表 7-3 ZigBee 割り当て周波数	69
表 7-4 ARIB 特定小電力無線局(コメントは双葉電子工業(株)資料より抜粋)	71
表 7-5 Bluetooth V2.1 vs. Bluetooth low energy (Wikipedia)	73
表 7-6 Bluetooth SIG,Inc.で規格化を検討中の利用シーン	73
表 8-1 BLEと既存 Bluetooth の比較	85

1 はじめに

IBMが毎年発表しているIBM 5 in 5（今後5年間で、人々の生活を変える可能性のある5つの技術革新）の、2011年12月の発表では、その一つに、“People power will come to life”と、所謂エナジーハーベスティングが挙げられた。IBMは言う、「動くものや熱を生成するものからはエネルギーが収集され、エネルギーを創り出す可能性を秘めています。ウォーキング、ジョギング、サイクリング、使用しているコンピュータからの熱。再生可能エネルギー技術の進歩は、個人が今無駄にしている、この運動エネルギーなどを収集することができ、そのパワーを私たちの家庭、オフィス、都市を助けるために使用できます」。

更に世界の大きな動きを俯瞰すると、「Internet of Things」が、非常に重要かつ後戻りできない大きな潮流となっている。その名の通り、あらゆるモノをウェブにつなぎ、ネットワーク化するという考え方であり、概念としては、産業部門、特に流通（貨物コンテナの追跡）や生産管理（製造工程の管理）などで最初に注目され、すでにB2Bの世界では実用化されている技術も数多くある。

これが、最近では、スマートフォンの普及などが加速要因となって、コンシューマ向けの技術が台頭しつつあり、B2Bの世界を超えようとしている。あらゆるものが情報源となり、言い換えれば何等かのセンサとなり、インターネットを経由して消費者のスマートフォンに処理された情報が伝達される。こうしたシステムの中では、上記のセンサー端末が、多様な形で、即ち、人体の周辺、家庭内、地域のコミュニティ、自然環境測定、インフラ設備など、あらゆる場所に設置され、インターネットにつながることになる。これらのノードの多くが、将来的にエナジーハーベスティングの対象となる可能性がある。

エナジーハーベスティングは、大きくとらえれば、消費エネルギーゼロのセンサネットワークノードを構成するものと言えるだろう。

古くは鉱石ラジオから、自動巻腕時計、自転車のライト用発電機、最近では携帯電話やスマートフォンの充電用として二次電池と組み合わせたソーラーパネルなど、身近なところでエナジーハーベスティングは使われてきている。ソーラーパネルを始めとして、発電素子の効率が非常に高まってきており、すべてのバッテリーを置換えることは無理としても、超小電力デバイスの進化により、バッテリーレスのシステムを間欠動作で制御するような応用範囲は今後大きく拡大していく可能性が見えてきている。希薄なエネルギーと思われる環境エネルギーは、技術開発の進展により、実は十分に大きく有用なものであるように我々の受け取り方は変わっていくであろう。

最近では、エナジーハーベスティングを使った、ライティング（照明）コントロールやワイヤレスセンサーネットワークによるビルディングオートメーションなど、欧米の先行が目立っている。しかし、本格的なエナジーハーベスティング市場は、緒についたばかりの段階であり、国内に大きな潜在市場を有する日本には大きなビジネスチャンスがその開拓を待っている。

ビルディング、ライティングのみならず、電力産業の大きな変革気運の高まりとスマートグリッド、BEMS (Building Energy Management System) や HEMS (Home Energy Management System)、またそれに関わるスマートホーム、スマートメータ、ホームネットワーク等々、新築のみならず既存の建物への適用は、ワイヤレスセンサーネットワークのチャンスが大きく広がる。更には、コンシューマ機器市場における大きな応用可能性、ヘルスケア、インフラのヘルスケア、自動車、自転車、スマートフォンなどアプリケーションは枚挙に暇がない。また、M2Mへの応用など期待感が高まっている。

加えて、各種発電デバイスの発電効率の向上、小電力動作可能な各種デバイス、その研究と実用化の進展は、更に上記アプリケーションへの応用範囲の拡大の可能性を示している。上述のように、Internet of Things が創

2 エグゼクティブサマリ

2.1 市場立ち上げで欧米に 10 年遅れる日本

エナジーハーベスティングという新しい言葉で定義される以前には、日本はバッテリーレス駆動の電子機器、例えば太陽電池式電卓、自動巻きウオッチ、ソーラーウオッチなどで大きな市場を作ってきた。太陽電池式電卓などは日本が主導してきたといえる。また、自転車のダイナモ(ジェネレータ)も人間のエネルギーを光に変えるためのものとして古くから実用化されてきている。これら開発や生産の点で、日本は世界に遅れを取っているわけではない。

しかし、エナジーハーベスティングの最も期待される分野としてバッテリーレス Wireless Sensor Network (WSN)を挙げたとたんに、日本の存在感は急激に低下する。日本企業の、単体技術のシステム化という方向性に対する脆弱性が表れているともいえる。

欧米では 2003 年から EnOcean を中心にビジネスが始まっており、すでに世界で約 25 万棟の建物への利用実績がある。特に築後 10 年以上の建築物への応用が多いといわれる。Wireless Sensor Network (WSN) 技術利用に関しては、ビルディングオートメーション (HVAC:空調管理やライティングコントロールがメイン) 関連が 80%を占めるようなビジネスを展開してきている。

ZigBee 方式の WSN では、ノードのバッテリー交換にコストや工数がかかるが、EnOcean を中心に進められてきたバッテリーレス Wireless Sensor Network は、長期間メンテナンスフリーとなる利点があると共に、EnOcean Alliance 企業を中心に多くのデバイス・モジュールの提供がなされており、今後の更なる市場拡大が期待されている。

発電デバイスなどのコンポーネント技術だけではこの市場は立ち上がらない。アプリケーション毎に最適化されたモジュール化が必要であり、そのためのインテグレーション技術、ソフトウェアなど、システム化技術の点で、或いはそれに関する関心の点で、日本は大幅な遅れをとってしまったといえる。その好例と言える、バッテリーレス WSN の応用市場は日本では全く立ち上がっておらず、まさに欧米に対して 10 年遅れているというのが実態である。

2.2 日本に訪れている転機と商機

日本では、エナジーハーベスティングコンソーシアムが 2010 年 5 月に設立されるなど、追撃の動きが出始めている。EnOcean Alliance への参加に関しても、日本企業は 280 社中 26 社と、ドイツ、米国に次いで、10%を占めており、基本的なその実力と関心を示している。ルネサス エレクトロニクスや村田製作所など、多くの日本企業からも将来を見越した新たな技術提案もされており、準備は整いつつある。

欧米で進むビルオートメーションやライティングコントロールへの応用のみならず、大震災を受けて、社会インフラの状態管理、自然環境のモニタリング、ヘルスケア、更には、ファクトリー設備の状態管理、日本の得意な家電分野、植物工場など、今後期待される応用分野は、成熟した日本社会の次の発展に必要な不可欠な分野である。潜在ニーズの早急な顕在化が求められている。

加えて、スマートグリッド、スマートメータが非常に期待される分野であり、基幹のホームネットワーク (ECHONET など)における主役は厳しいが、付帯するセンサーネットワークには、EnOcean 或いは ZigBee ネットワーク、その他のワイヤレス通信によるバッテリーレス WSN 構築の可能性も高い。

Wristwatches	32 million	\$26 million	(2012年)
Bicycle Dynamo	6.5 million	\$81 million	
Mobile Phones	0.1 million	\$1 million	
Consumer Electronics	530 million	\$385 million	
Wireless Mesh Networks	0.1 million	\$1 million	
Industrial (non mesh)	1.5 million	\$12.75 million	
Military & Aerospace	0.05 million	\$175 million	

金額では、電卓や玩具、ライター、ラジオなど、民生電子機器系の比率が非常に大きく 54.5%を占め、Mobile Phone などを含めた民生系全体で 73%、ネットワーク系で 6.5%を占めている。従来の延長系である民生機器系が大きな比率を占める。期待されるネットワーク系はその存在が市場導入期といえる段階であり、Non-mesh が 93%を占めている。シンプルなネットワークポロジーを中心にエネルギーハーベスティングによる WSN は市場を形成していくと予測できる。図 4-3 には、2012 年と FRL が予測する 2017 年の市場規模の変化を丸の大きさで示している。エネルギーハーベスティング市場の規模は、現在でも 2017 年においても民生機器が最大である。エネルギーハーベスティング市場の成長は民生 AV 機器における応用拡大と、新規市場としての WSN の急成長にあるといえる。

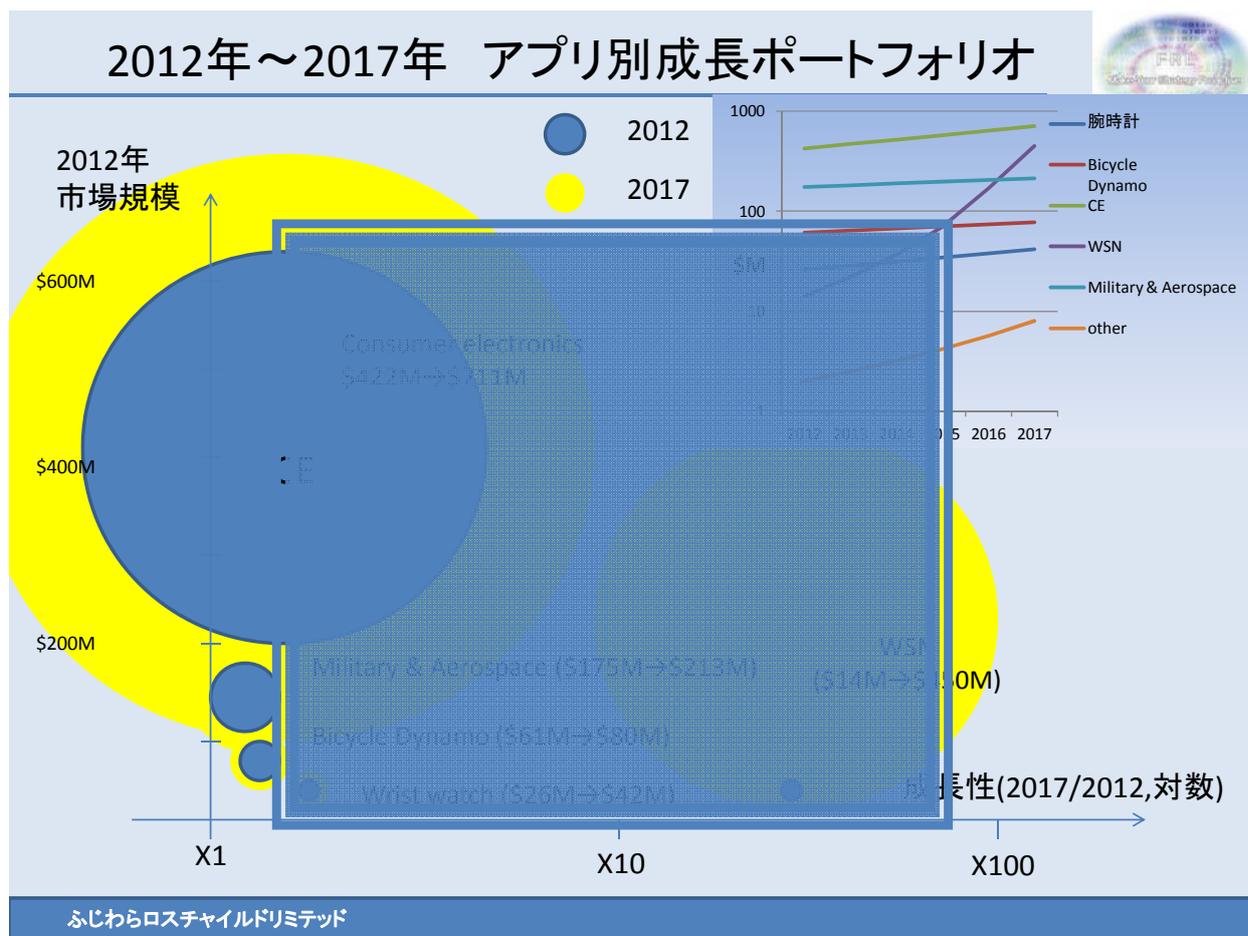


図 4-3 2012～2017 年 アプリ別ポートフォリオ

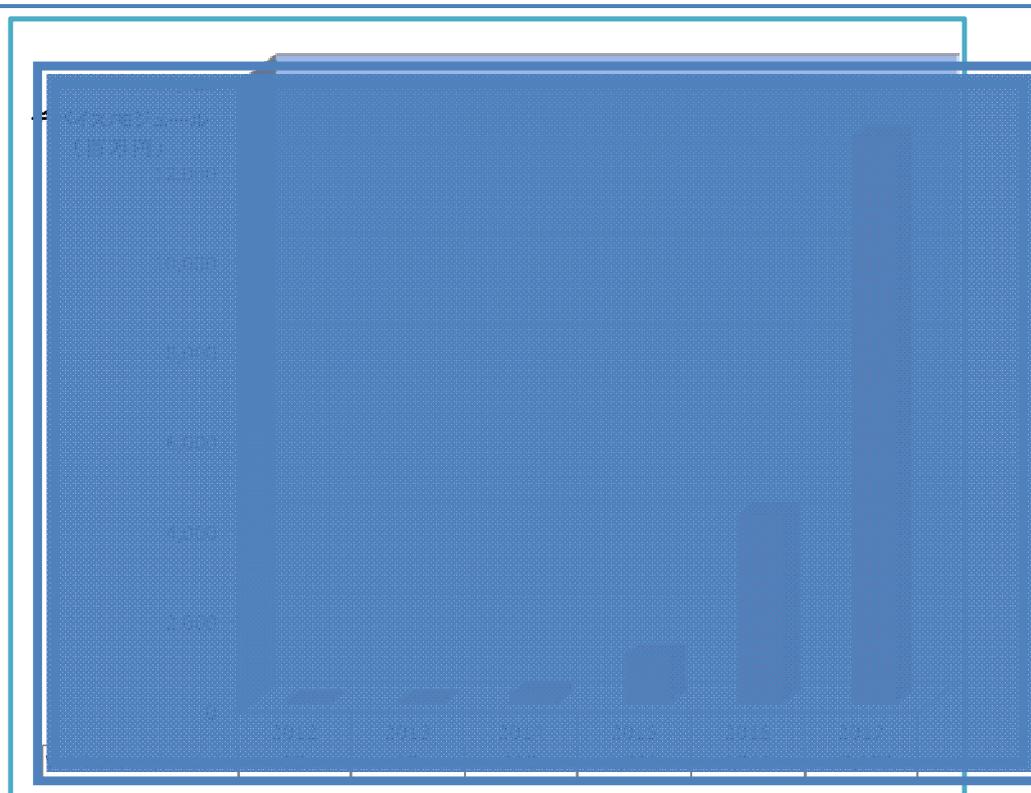
表 6-1 エナジーハーベスティング 日本市場金額規模の予測

間欠／瞬時型	既存市場 (電点、時計等)	新規市場 (ITモノ、WSN等)	合計
2012			
2017			
CAGR			
蓄積型			
2012			
2017			
CAGR			
(億円)	世界		
2012			
2017			

(上表は百万円、下表は億円の単位設定)

参考までに、バッテリーレス Network の市場規模推移を図 6-3 に示す。2012 年～2014 年の準備期間を経て、2015 年からは成長期に入ると想定される。

WSN, M2M Battery-less Network

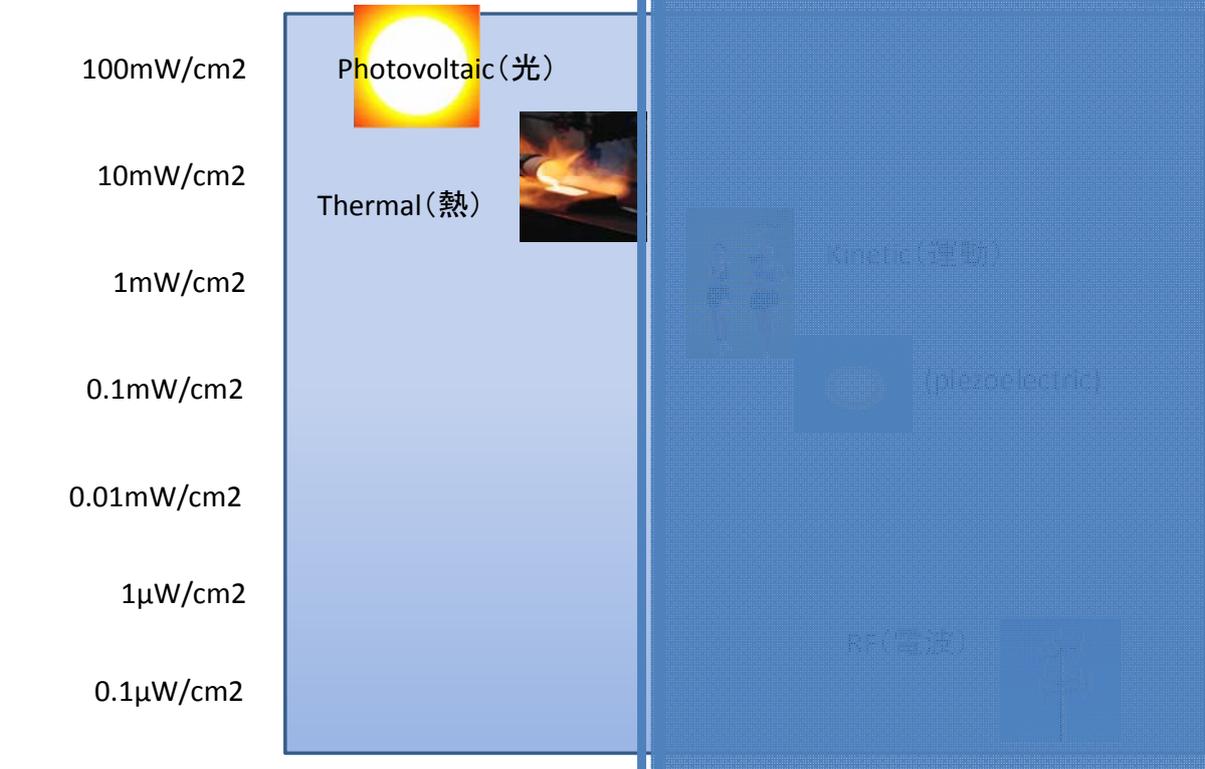


ふじわらロスチャイルドリミテッド

図 6-3 WSN, M2M バッテリーレス Network

現状では、その発電量は、条件によって異なるので単純に比較することはできません。例えば、太陽光発電は、100mW/cm²、熱電対で 10mW/cm²、ピエゾで 100μW/cm²、RF で 100μW/cm² 程度である。用途によってハーベスティングデバイスの種類が異なり、それによって

発電能力比較 (概要)



ふじわらロスチャイルドリミテッド

図 7-3 エネルギーソースと発電量(概要)

以下に、それぞれの種類のハーベスティングデバイスの例

7.3.1 太陽光発電デバイス

Photovoltaic デバイスは、光エネルギーにより発電するもの。メガソーラや屋根上太陽光パネルなどの大電力の発電用と、電力パネルは、例えば電卓用や時計、小型 LED ライト用の用途の中で最も多く利用されている。図 7-3 に示す通り、環境発電の中でも最も多く利用されている。しかし使用電力が大きい場合には、パネルの面積も大きく

図 7-4 に、太陽光発電デバイスの構造や材料によって分類される。有機系には色素増感と有機半導体を用いた有機系から分類として、結晶系と薄膜系に分けることができる。

無線方式比較

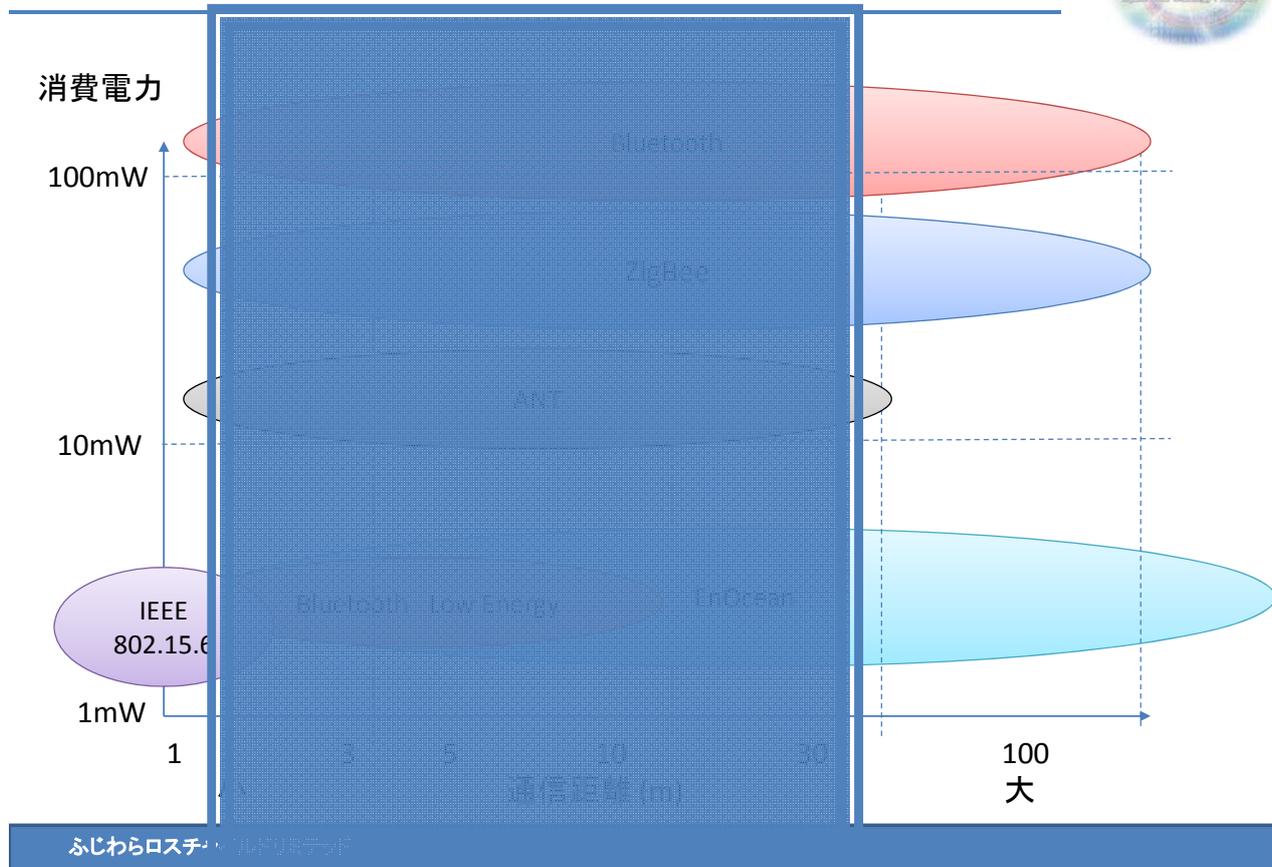


図 7-28 各種無線方式比較図

EnOcean は明確な初期目標として、超低消費電力無線通信を目指しているが、現在のところ、小型電子機器間における超低消費電力無線通信の標準化の動きは、寿命を延ばすことを目的とした通信規格が殆どない。

しかし、ZigBee や ANT や Bluetooth などの WSN 規格の標準化の動きは、その可能性を表明しているし、ANT や Bluetooth、或いは IEEE 802.15.6 などでの超低消費電力無線通信の可能性を探る動きは、今後さらに積極化するとみられている。図 7-27 に示した通信規格のうち、Bluetooth を除けば、使用環境とのかかわりが大きい。すべてエネルギーハーベスティングによる超低消費電力無線通信が可能になる。

以下、ここに述べた低消費電力の各無線通信規格について、次項にその概要を記す。

8.3.7 FRAUNHOFER IZM

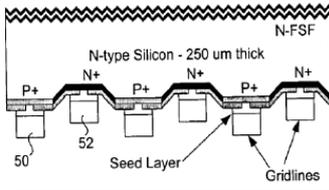
Dr Robert Hahn, Head of Portable Power Supply Group Dept.
Power supply for wearable applications based on 3D solar module technology

ヘルメットとグローブの統合と通信をテーマに、ヘルメットにワイヤレス給電するシステムとしたが、ヘルメットが中心となった。多くのテストの結果では、cSi(結晶シリコン)よりも、バック面接続のcSi(結晶シリコン)の方が、薄く、柔軟で、高効率なことがわかった。バック面接続のcSi(結晶シリコン)は、従来のcSi(結晶シリコン)よりも、薄く、柔軟で、高効率なことがわかった。

Bendable Modules based on Back Junction Silicon Solar Cells



- Silicon wafers can be diced while maintaining back side parallel electrical interconnection
- Less weight required compared to Chip On Board Technology



robert.hahn@izm.fraunhofer.de

図 8-22 Bendable Modules based on Back Junction Solar Cells

Technology Development: Lamination

Lamination Foil

- PMMA
- PC
- PET-G
- ETFE



Adhesive

- PUR
- EVA



図 8-23 Technology Development : Lamination

Energy Harvesting

FRL Annual Report

2012 年 創刊特別編

禁無断転載

株式会社ふじわらロスチャイルドリミテッド

〒101-0032 東京都千代田区岩本町 2-11-3 第八東誠ビル 4F

Tel: 03-5821-3993 Fax: 03-5821-4030 Email: info@fujiroth.com

2012 年 6 月発行

- 価格
1. Annual/Quarterly セット価格 50 万円/年間契約
(Quarterly report は年契約のみ。48 万円/年)
 2. Annual report は単品可能。単独で 85,000 円/冊、
PDF 版と合わせて 95,000 円