オープンソースのEDA、PDK、IPを使用し
経済的に持続可能なMARMOT SoCを設計

Designing an Economically Viable MARMOT SoC using open source EDA, PDK and IPs

河崎 俊平 | SHコンサルティング株式会社
萩原 今朝巳, 範 公可 (Cong-Kha Pham) | 電気通信大学

Shumpei Kawasaki | SH Consulting K.K.. Kesami Hagiwara, Pham Cong-Kha | University of Electro-Communications (Japan)

発表内容

1. 背景紹介
2. Linux　RTOS　の利害特質
3. RTOS　デバイス認証、無線遠隔ソフトアップデート
4. オープンシリコンによるMarmot SoC試作
5. オープンシリコン用　成熟プロセスの状況
6. まとめ

発表者経歴

<MCU開発>

1980-1986　68K、AIチップ

1990-2001 サターン、ドリキャスチップセット

<セキュリティ開発>

2001　大手電機メーカ駐在員退社

ローカル雇い　インテグレータ転向

Java Card™ 、テレマ開発

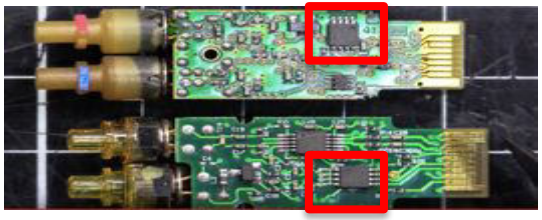
2001-2008　ルータ真贋判定　C暗号ライブラリ

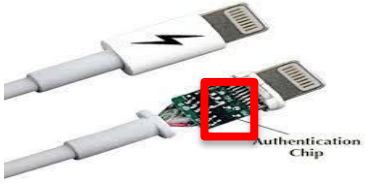
北米スマホ用　セキュアOS

2008-2010　FIPS140-2 Level 3　取得作業

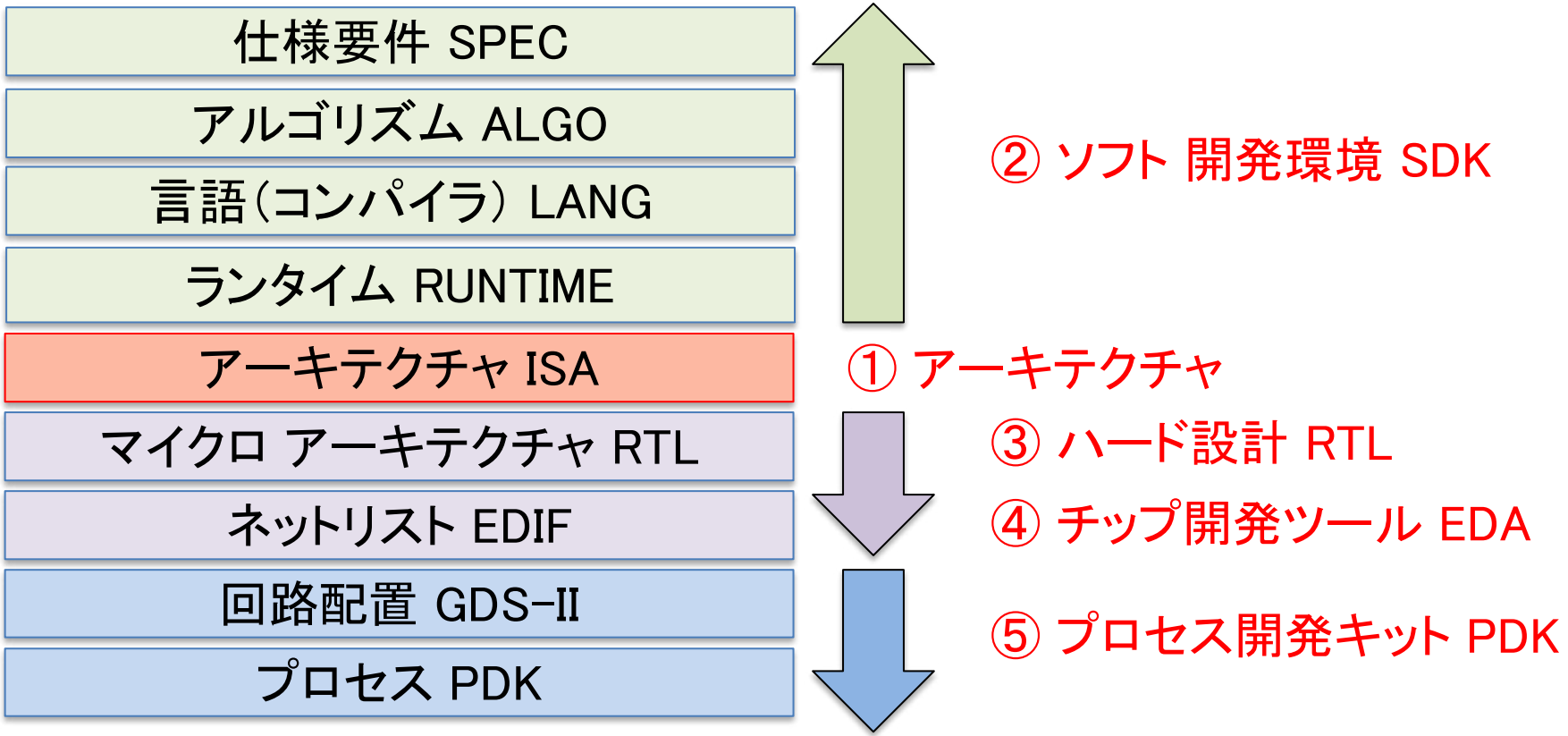
<IoT開発>

2013 大手半導体会社退社　SHC社設立





コンピュータの抽象レイヤ
ABSTRACTION LAYERS OF COMPUTER



軽量無線 IoTボックス Marmot（2016）

2016年よりレンタル開始

親機（ゲートウエイ）
　多様なアプリやフレームワークを活用できるLinuxプラットフォーム
センサーモジュールとの通信
クラウドへのデータアップロード
PC、Androidスマホ・タブレットアプリ開発
顧客要望の制御基板のカスタマイズ

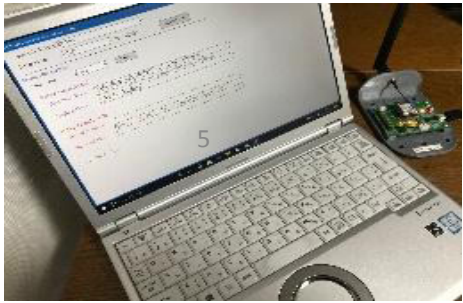
子機（センサモジュール）
　業界最軽量小型、乾電池で長時間運転可能
　電池残量検出、外付けアンテナ/ワイアアンテナ選択、GPS標準装備、
　UART, I2C, SPI, A/D, GPIOなどのセンサ接続用端子とドライバを完備

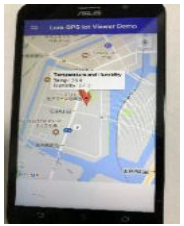
スマートフォンデータ Viewer（ユーザインタフェース）
　PC、Androidスマホ・タブレット上の親機受信データ確認用GUI

軽量LoRaボックスはユニークな存在で、ドローン応用
建設現場等で多くの実績があります。
（注） 無線通信部は、技術適合認定取得済み。

全体システム構成例

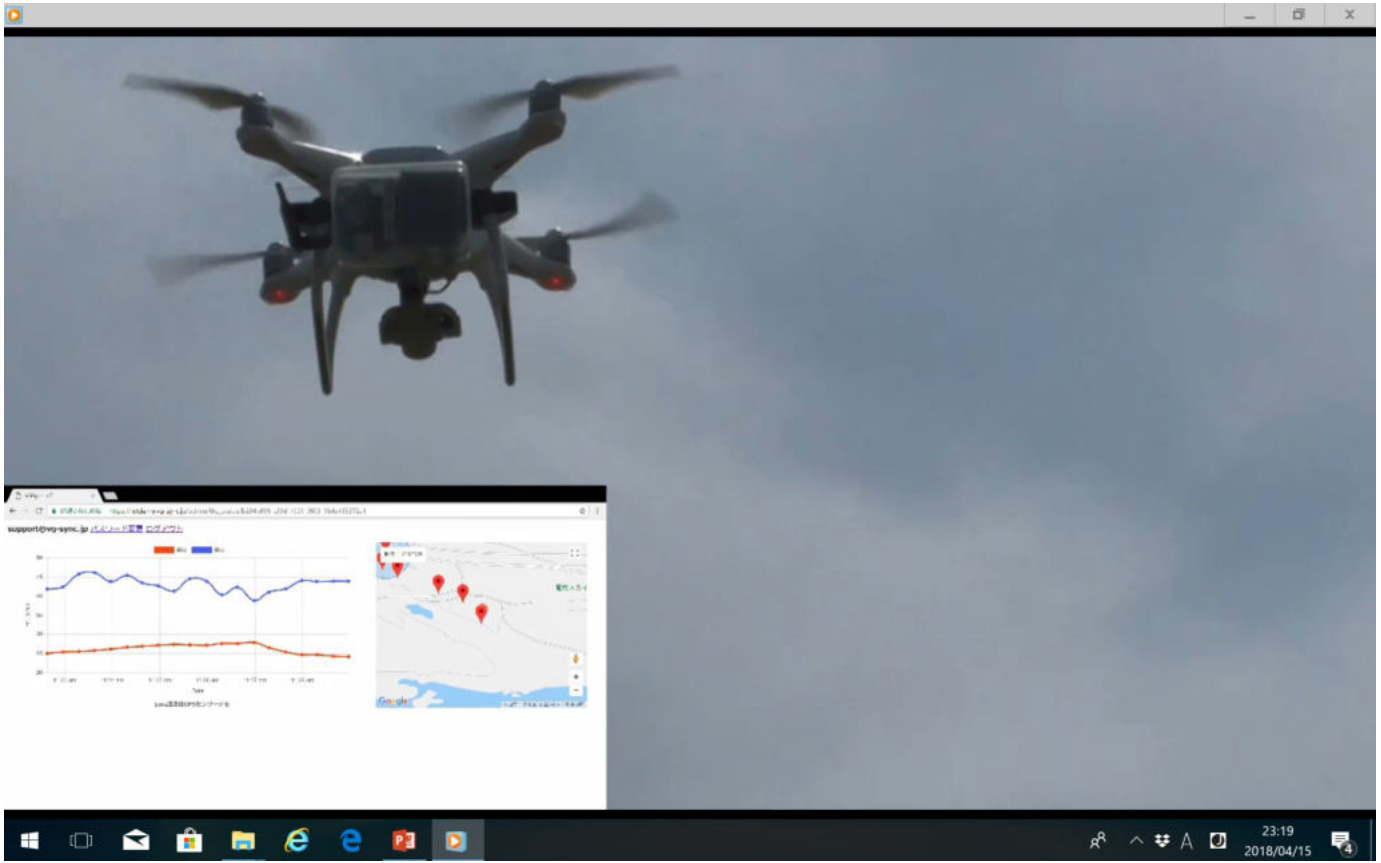
親機接続PCの操作画面例





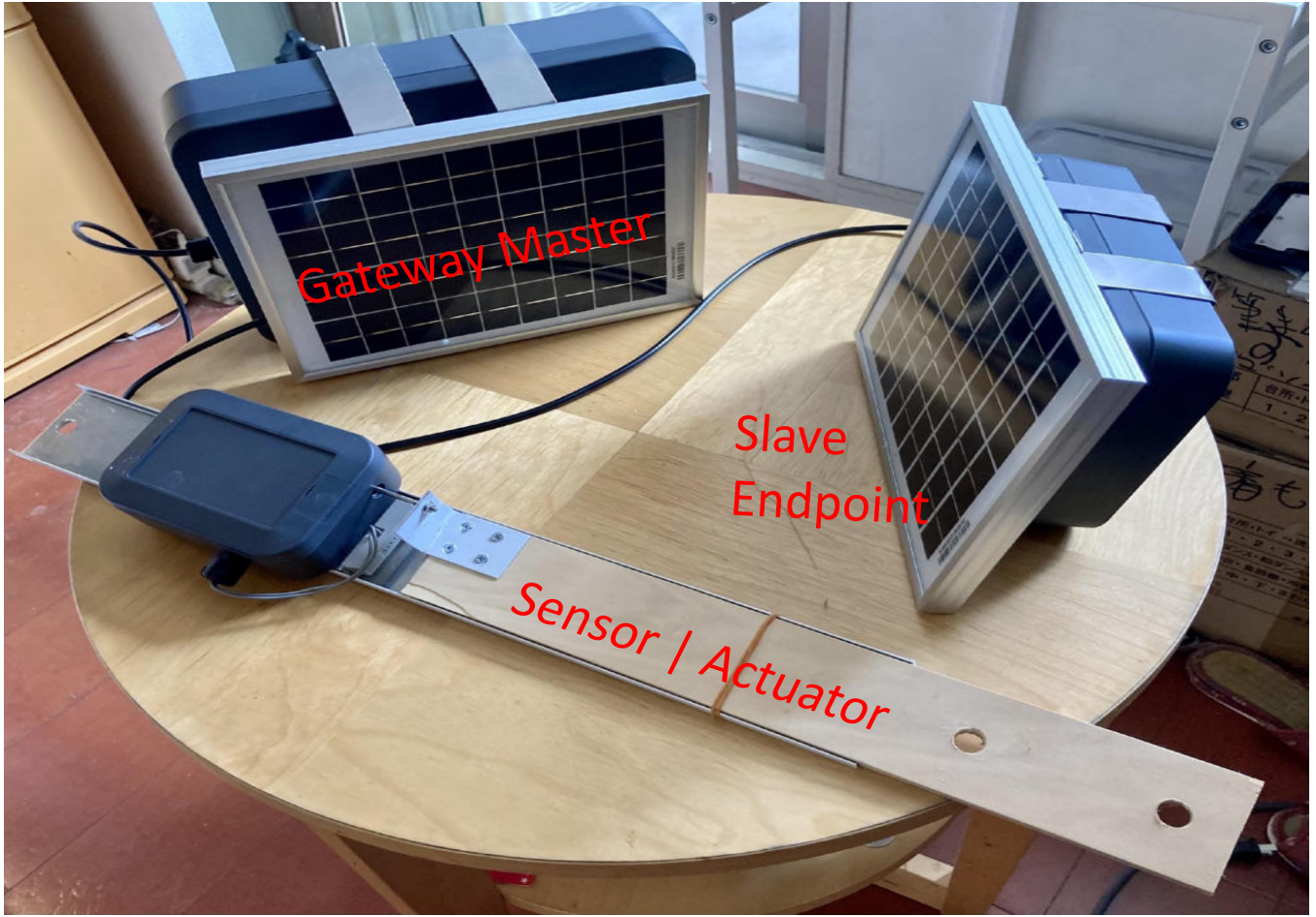
親機接続Android
スマートフォン画面例
（グーグルマップ、
温度、湿度表示）

ドローンによる新燃岳での大気状況検出（2018）
(GPS、温・湿度センサー)



新燃岳での火山噴火時の降灰検出データ（2018）
（GPS, 圧力センサー, 温・湿度センサー)

RTOSシステム用一体型ソーラ リチウム

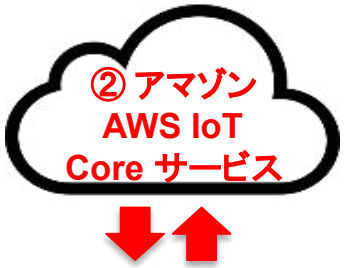


2. Linux　RTOS　の利害特質

Linux 対　RTOS

抽象化された情報
送受信

遠隔
ファームウエア
アップデート
(OTA)



センサ
アクチュエータ
データ送受信

遠隔
ファームウエア
アップデート
(OTA)

① Linux型 IoT

リッチOS （Linux）	**RISC-V プロセッサ**	>1GB 外付 SPIフラッシュ
トラスト実行 環境（TEE）	有線無線 ネットワーク	>4GB 外付 DDR RAM
階層的メモリ 管理（MMU）	セキュア MCU	>64GB 外付 ストレージ

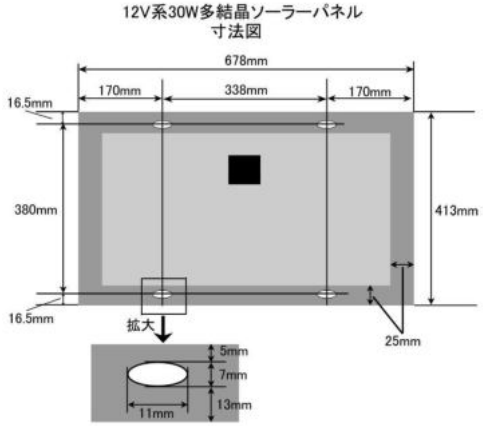
消費電力
1.5W ~ 50W

② RTOS型 IoT

リアルタイムOS （RTOS）	**RISC-V MCU**	＞256KB 内蔵 フラッシュ
各種センサ I/O論理	無線 ネットワーク プロセサ	>64KB 内蔵 RAM
物理メモリ 保護（PMU）	セキュア MCU	>1MB 外付 フラッシュ

消費電力
50mW ~ 180mW

Linuxシステム用 ソーラパネル例　30W



定格出力:　30W

開放電圧:約21.6V

短絡電流:約1.83A

最大動作電圧:17.28V

最大動作電流:1.74A

寸法:41.3cm x 67.8 cm x 2.6cm

重量:約3.4Kg

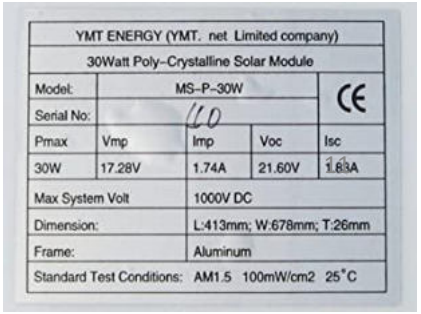
表面のガラス:強化ガラス

機体寿命:25年

高品質セル使用

12Vバッテリー対応

ロングケーブル搭載(約8m)

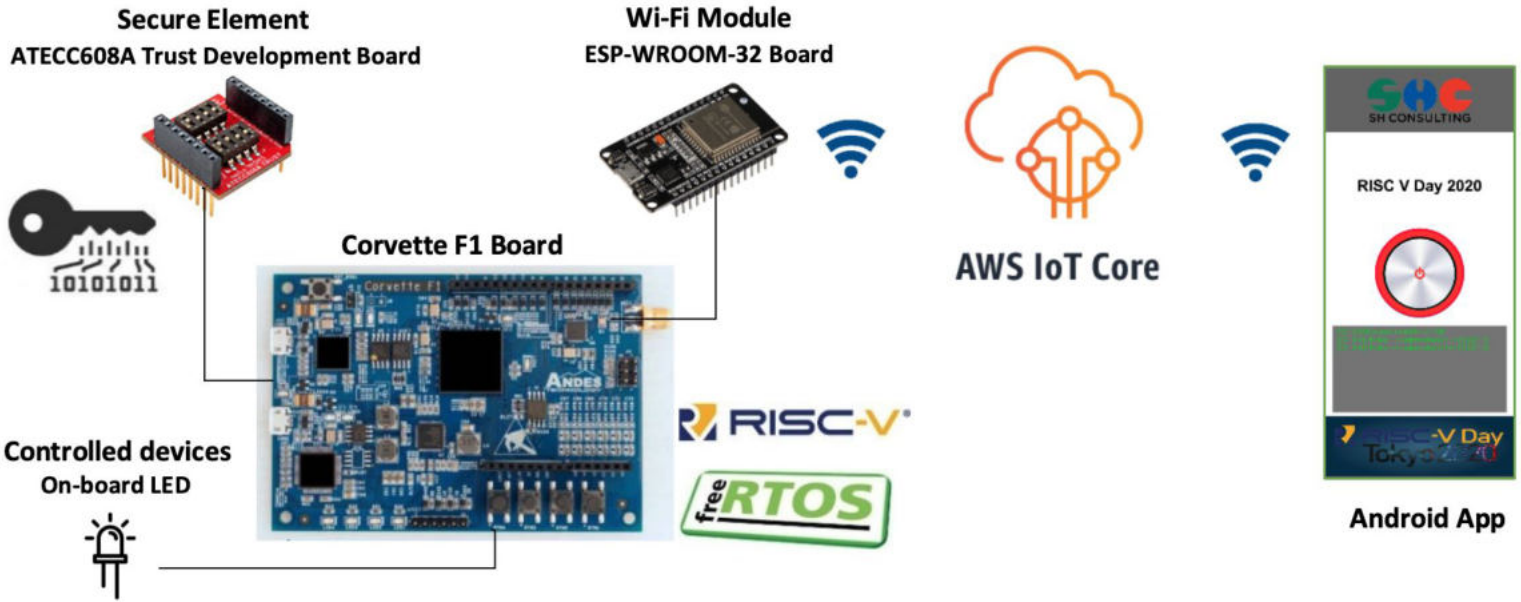


YMT ENERGY (YMT. net Limited company)				
30Watt Poly-Crystalline Solar Module				
Model:	MS-P-30W			CE
Serial No:				
Pmax	Vmp	Imp	Voc	Isc
30W	17.28V	1.74A	21.60V	1.83A
Max System Volt		1000V DC		
Dimension:		L:413mm; W:678mm; T:26mm		
Frame:		Aluminum		
Standard Test Conditions:		AM1.5 100mW/cm2 25°C		

3. RTOS IoTによるデバイス認証と遠隔無線ソフトアップデート(OTA)

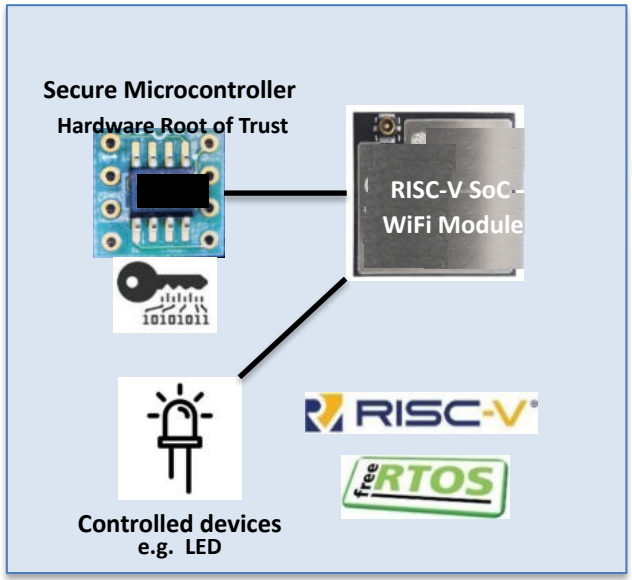
SHC RISC-V AWS IoT Core デモ(2019, 2020)

2019年、RISC-Vツールの使用しSHCはFreeRTOS をRISC-Vに移植し、Amazonネットワークに接続しました。2020年には、FreeRTOSにルートオブトラストチップを集積し、BYOC(自前公開鍵証明書をAWS IoTにプロビジョニングする技術)を行いました。



オンライン　RISC-V パビリオン デモ（2021）

RTOSを実行するRISC-V IoT



クラウド IoT
サービス

2.4GHz

OTA

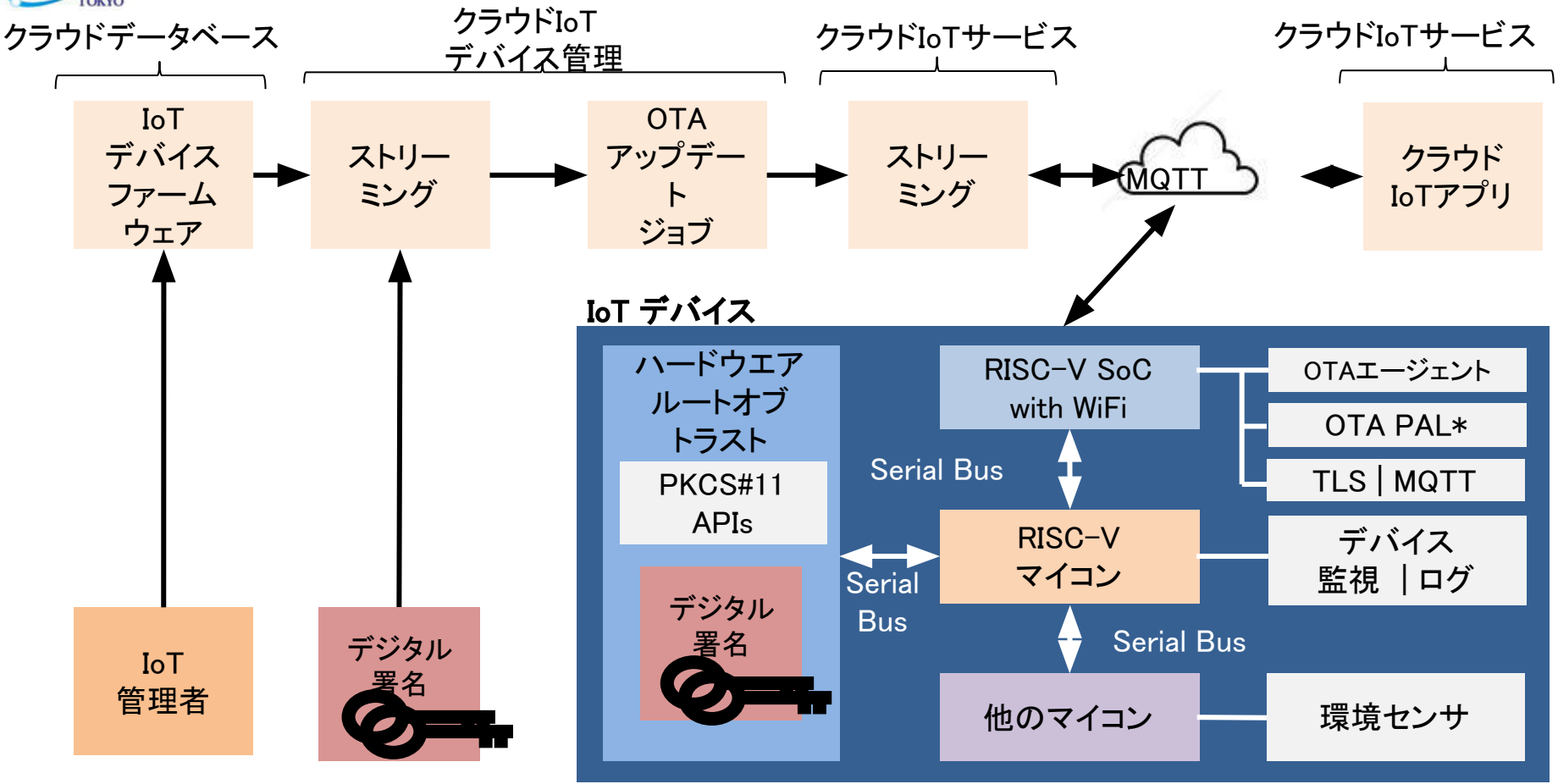
重要なデータ、GPS、温度、湿度など。

RISC-V Wi-Fi、RISC-Vマイクロコントローラー、長距離ワイヤレス用の新しいファームウェア

IoTデバイス

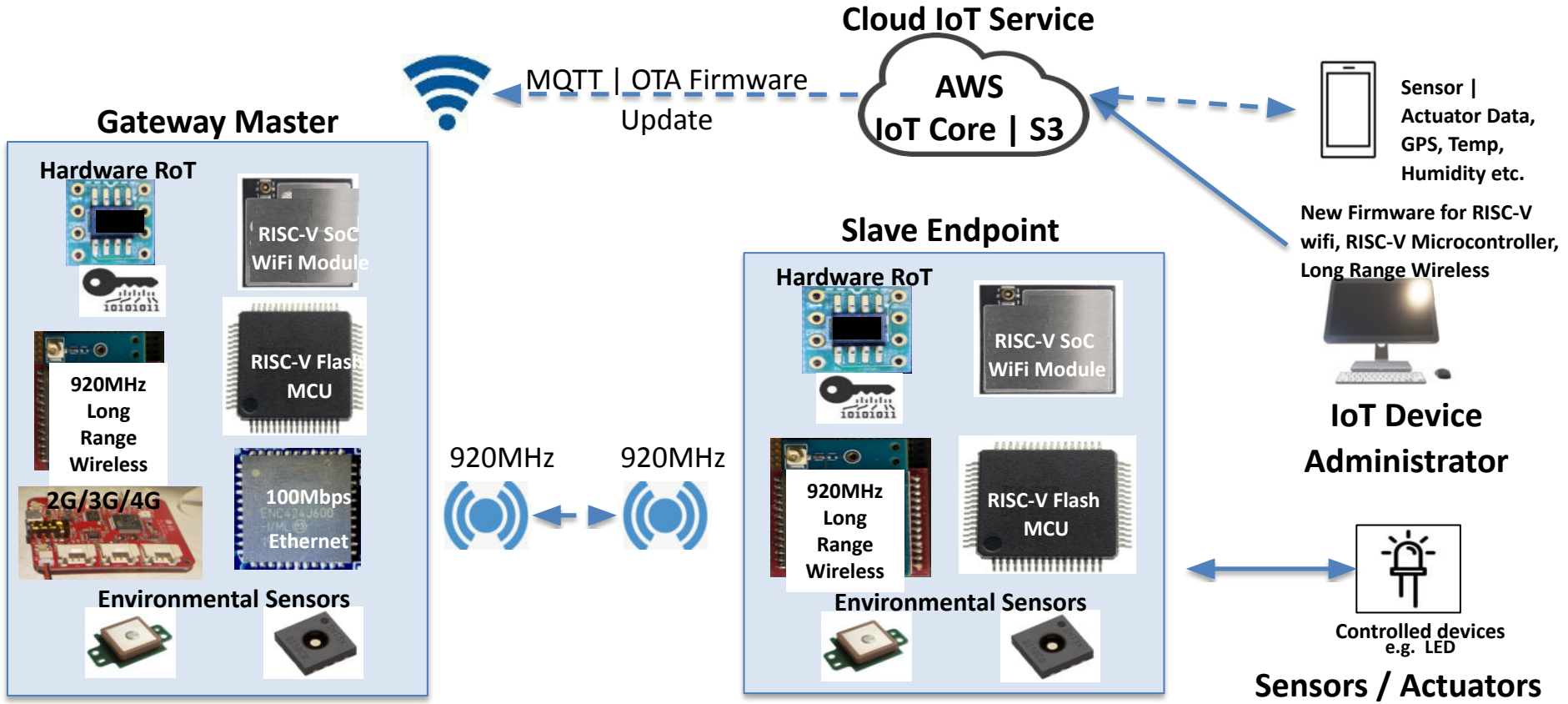
マネージャー

アマゾン FreeRTOS の OTA方式

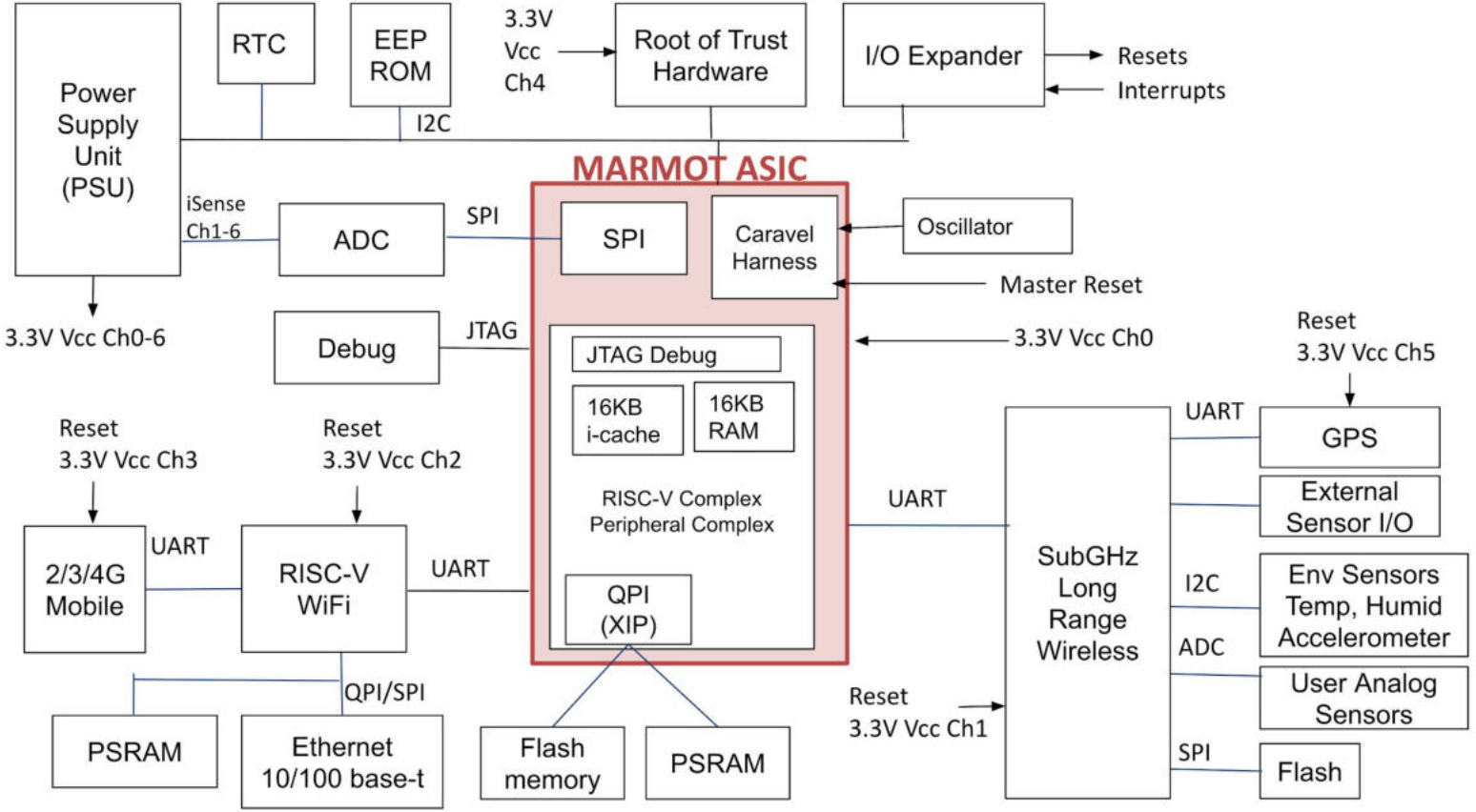


*) PAL = Physical Abstraction Layer

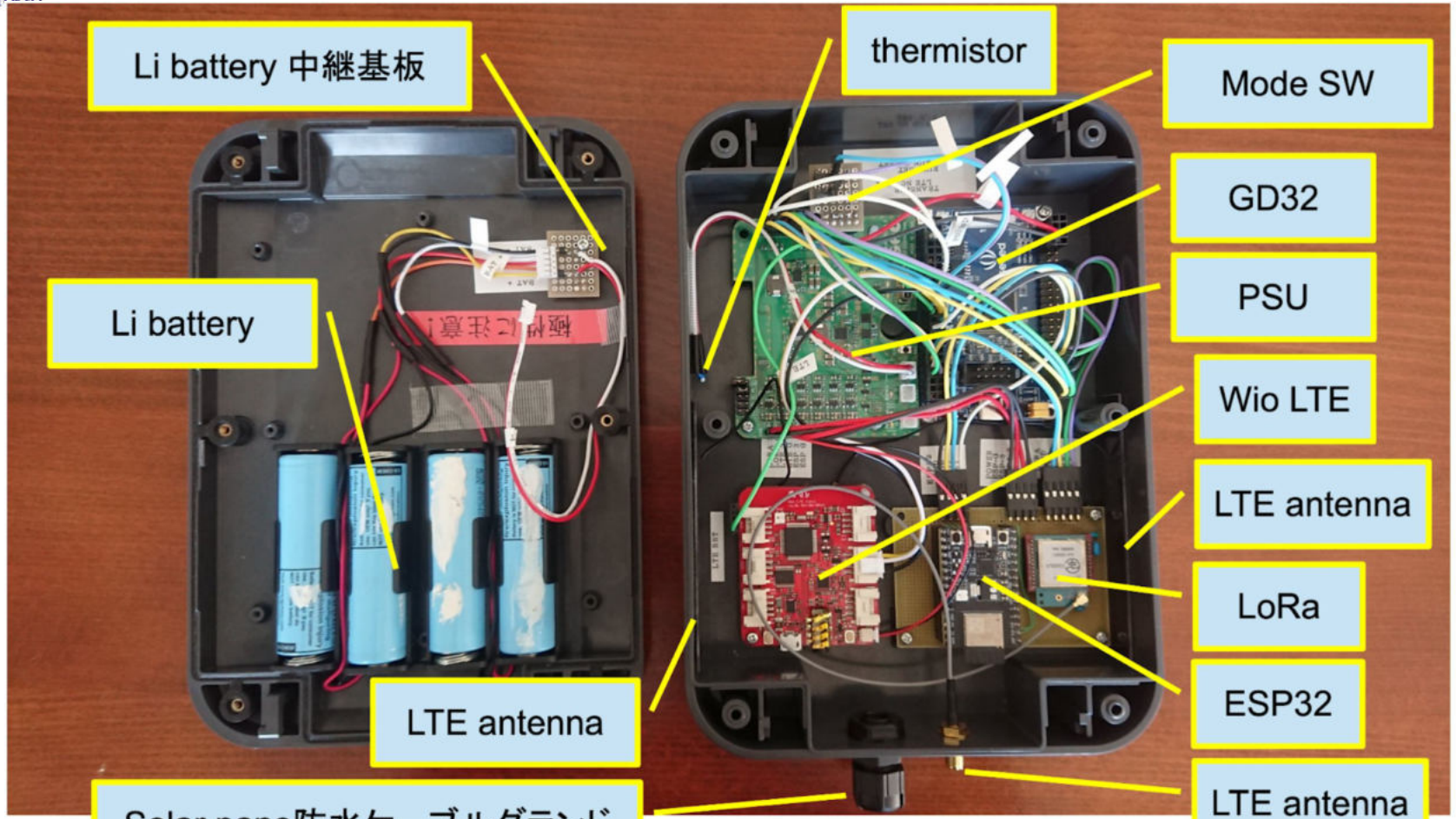
Marmot システム



Marmot ブロック図

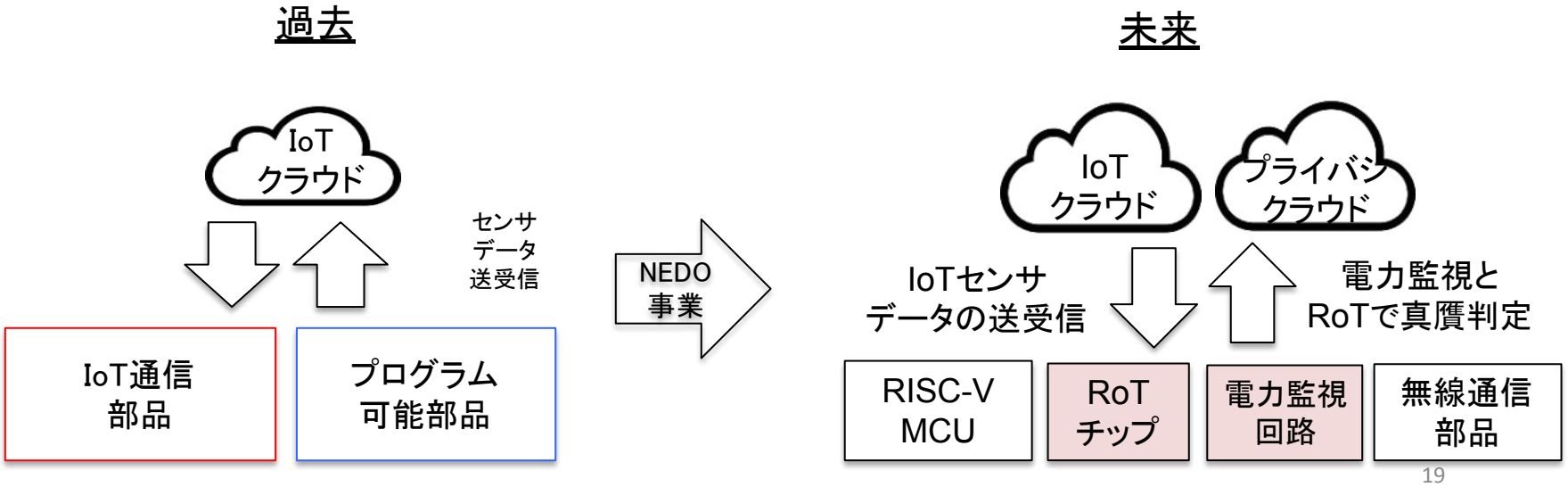


Marmot　ブレッドボード



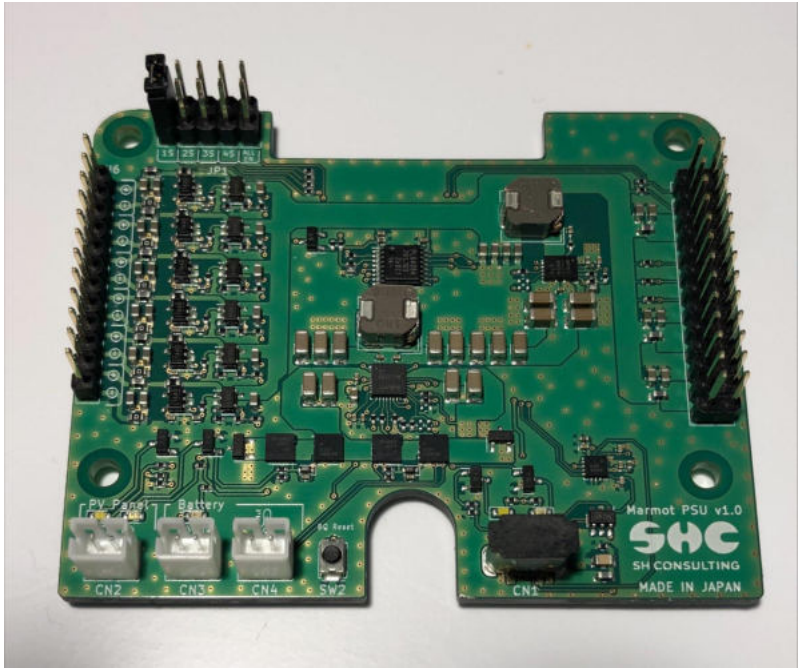
次世代無線IoTボックス：RISC-Vによるセキュリティ実現

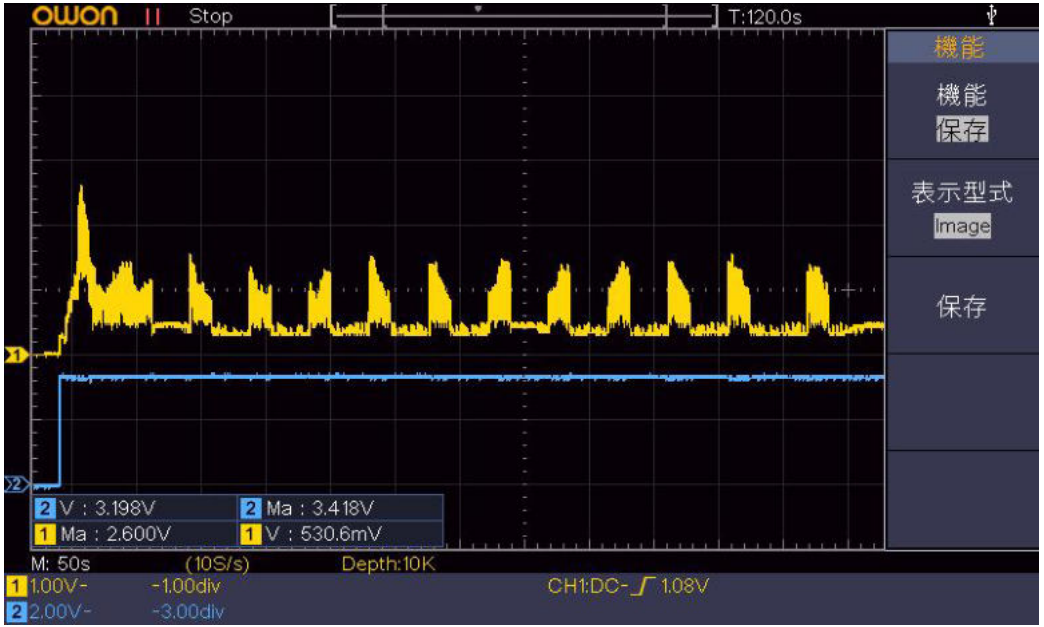
マルウエア　から　システムを守る



NEDO助成により研究実施中
米国特許申請済

電源供給PSU ボードとLTEチップ出力波形



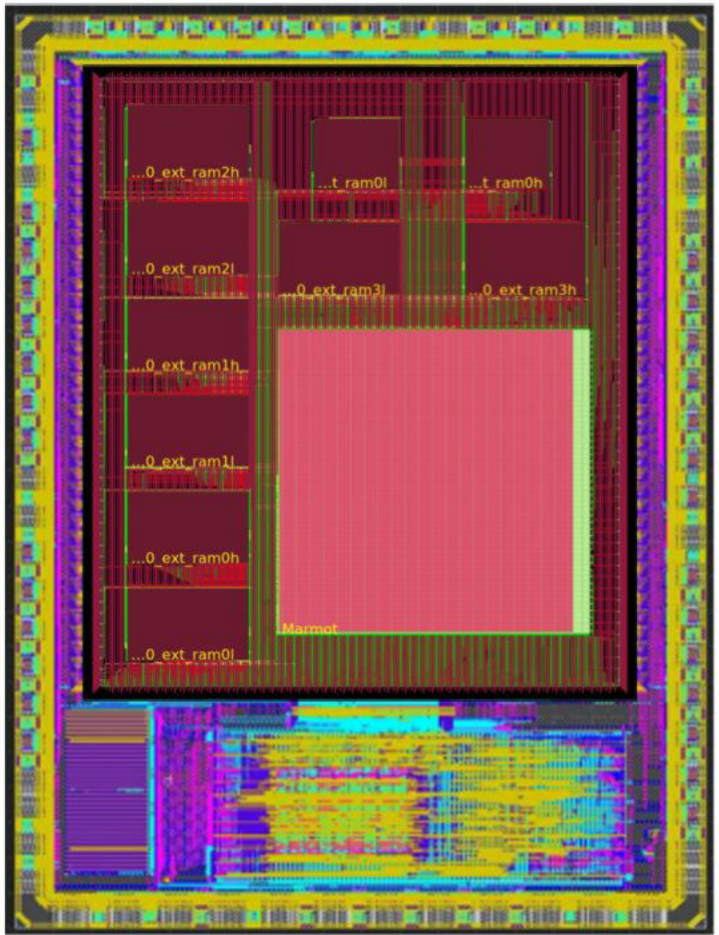


4. オープンシリコンによる Marmot SoC試作

DARPAによるOpenROADへの$200Mの投資

- オープンソースEDAソフトウェア
  - 数十年前から存在。最先端ノード製造工程の複雑で商業ツールに遅れた
  - EDAツールのコスト：3つのEDA会社が25%を研究開発に投資
    - Nvidia、Apple、Qualcommなどエンタープライズ顧客
    - $10のIoTチップを作る小さなチーム
- 20の既存ツール → 1アプリにバンドル → エンドツーエンドのフロー
  - Qflow： Verilogソース → 物理レイアウト
  - SPICE： 回路シミュレーションプログラム
  - Magic： VLSI回路レイアウトの作成と変更
    - Mead-Conway設計手法で、単純ルールで、基本セルを階層設計
  - VIS：Verification Interacting with Synthesis

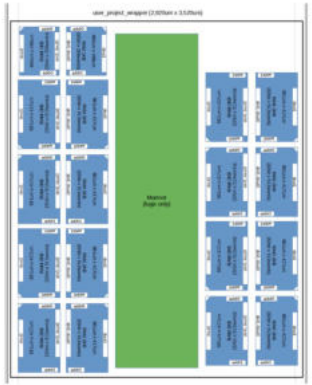
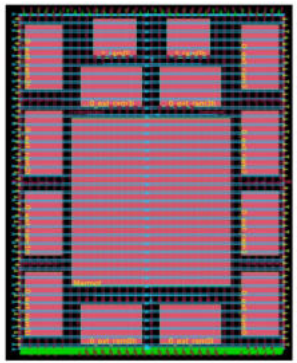
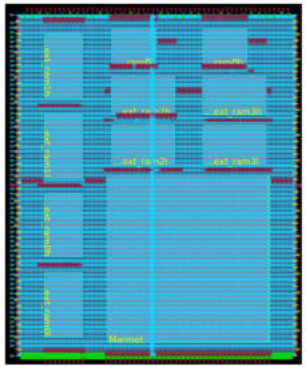
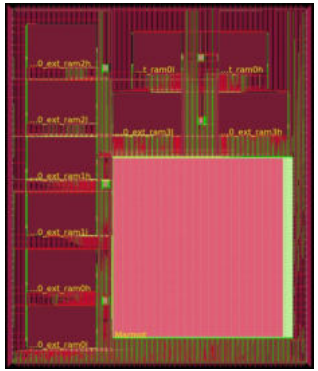
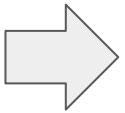
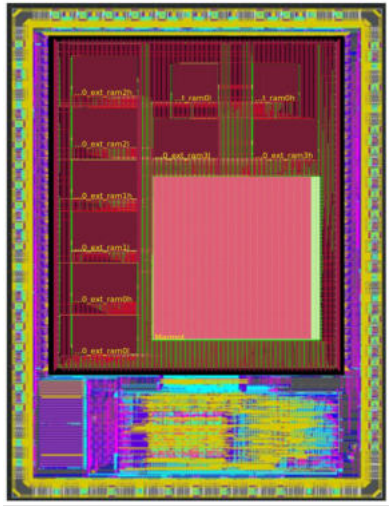
ＭＡＲＭＯＴ　ＲＩＳＣ－Ｖ　２０２２　１３０ナノメータ



- Ｓｋｙｗａｔｅｒ社　１３０nmプロセス
- チゼル言語（１００行）でベリログ論理を生成
- ベリログ修正（ＲＡＭがトップ階層）
- チゼル部　⇆　ベリログ部の接合（３５０行）
- 周波数　２５ＭＨｚ＠ｔｙｐ（最適化なし）
- I$ = 16KB
- ＰＳＲＡＭ　ＱＰＩ　ＩＦ　３２ＭＢ
- ＦＬＡＳＨ　ＱＰＩ　ＩＦ　３２ＭＢ
- Ａ２Ｄ　ＳＰＩ　５０ＭＨｚ
- ５Ｘ　ＵＡＲＴ　ファームウエアアップデート用

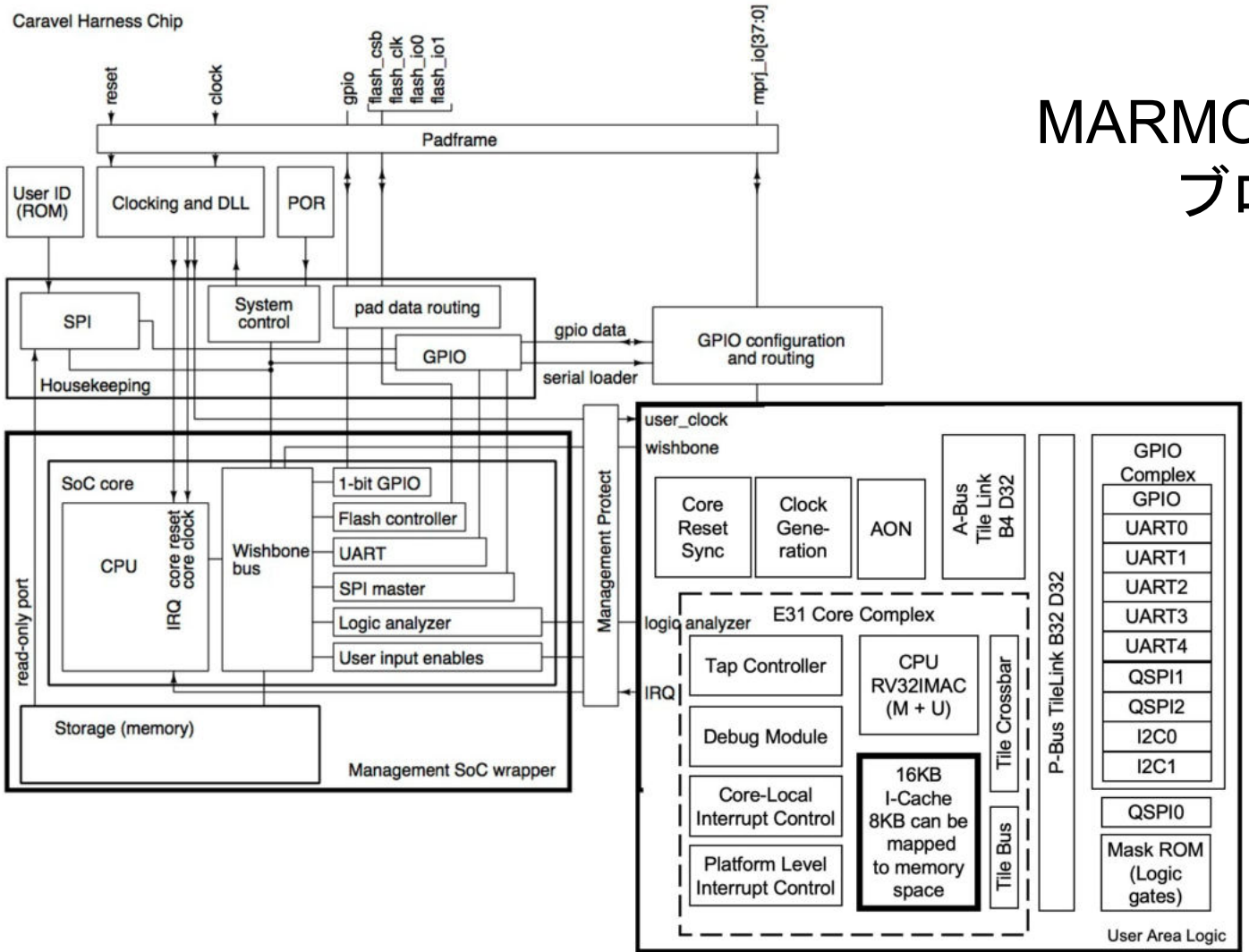
10mm 自由空間 + Caravelハーネス

- 2022年6月2日にテープアウト（本日朝）
- 実装密度0.3（30%）
- I/O＋クロック＝Caravel Harness
- 10mm2に入れる論理設計の労力削減

- 論理生成言語Chiselによる設計作業量削減
- Caravelターミナルと I/Oグルー論理（350行）chip.scala、platform.scala
- UART、I2C、SPI（100行）config.scala、system.scala

MARMOT SoC
ブロック図



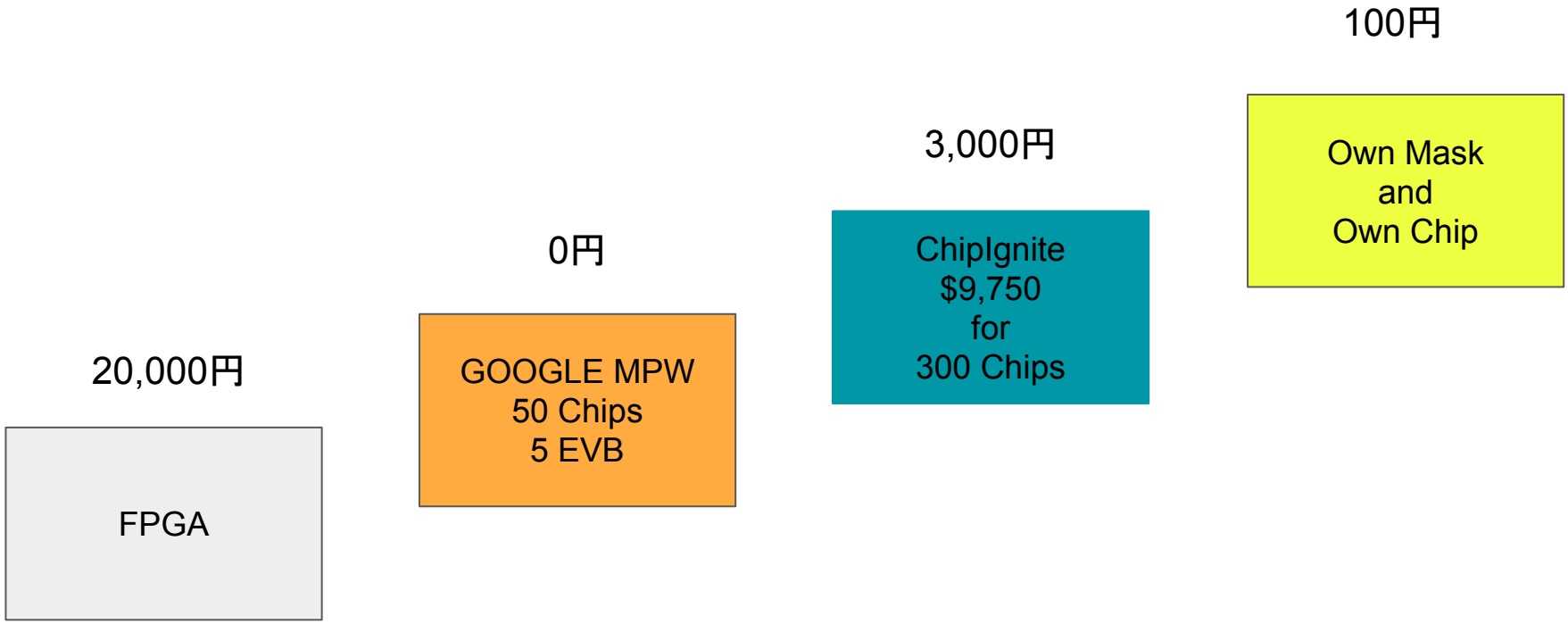
ＲＩＳＣ－Ｖ ＲＶ６４ＧＣ　２０１８　１８０ナノメータ

- チップ完成：2018年12月
- プロセス：ローム180nm
- 面積：3.75mm x 3.75mm
- SRAM：
- 　　I $ + D $：4KiB + 4KiB
- 　　L2-RAM：64KiB
- 論理規模：302KG

  （使用率：53%）
- 周波数：80MHz @typ

  （最適化せず）
- VDECによる

経済的な持続性

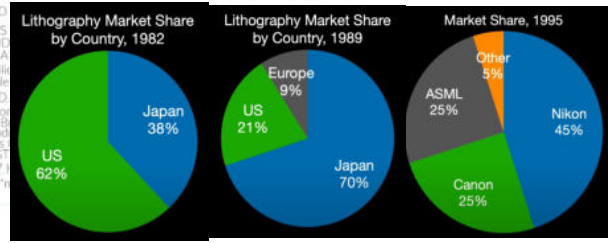

20,000円
FPGA
0円
GOOGLE MPW
50 Chips
5 EVB
3,000円
ChipIgnite
$9,750
for
300 Chips
100円
Own Mask
and
Own Chip

ムーア則（2年2倍） 国内ファブ（82箇所） 製造装置（75%）

1984~ ASML創設

TwinScan（複合機）

1995~ ASML独壇場に



1980~1994 日本ステッパ黄金時代

超LSI研究組合 ~1980

2019~ EUV

2003~ ArFイマージョン 90nm~

1994~ 複合機

1994~ KrFレーザー

1990~ i-線ステッパー

2021年時点でのシェア

露光種類（光の種類）	量産化時期	シェア			単価
		ASML	Nikon	Canon	
i線ステッパ	1990年頃~	25%	5%	70%	4億円
KrF レーザー	1994年頃~	75%	5%	20%	13億円
ArF レーザー	2000年頃~	25%	75%	0%	20億円
ArF immersion	2011年頃~	95%	5%	0%	60億円
EUV	2019年頃~	100%	0%	0%	200億円

各プロセスノードのチップあたりのファウンドリ販売価格

Table 9: Calculation of foundry sale price per chip in 2020 by node

Line	Node (nm)	90	65	40	28	20	16/12	10	7	5
1	Mass production year and quarter[220]	2004 Q4	2006 Q4	2009 Q1	2011 Q4	2014 Q3	2015 Q3	2017 Q2	2018 Q3	2020 Q1
2	Capital investment per wafer processed per year	$4,649	$5,456	$6,404	$8,144	$10,356	$11,220	$13,169	$14,267	$16,746
3	Net capital depreciation at start of 2020 (25.29% / year)	65%	65%	65%	65%	65%	65%	55.1%	35.4%	0.0%
4	Undepreciated capital per wafer processed per year (remaining value at start of 2020)	$1,627	$1,910	$2,241	$2,850	$3,625	$3,927	$5,907	$9,213	$16,746
5	Capital consumed per wafer processed in 2020	$411	$483	$567	$721	$917	$993	$1,494	$2,330	$4,235
6	Other costs and markup per wafer	$1,293	$1,454	$1,707	$2,171	$2,760	$2,990	$4,498	$7,016	$12,753
7	Foundry sale price per wafer	$1,650	$1,937	$2,274	$2,891	$3,677	$3,984	$5,992	$9,346	$16,988
8	Foundry sale price per chip	$2,433	$1,428	$713	$453	$399	$331	$274	$233	$238

ムーア則終焉が叫ばれる最大の理由は、リトグラフィの3次元化によって、チップ価格が下がらなくなったこと。

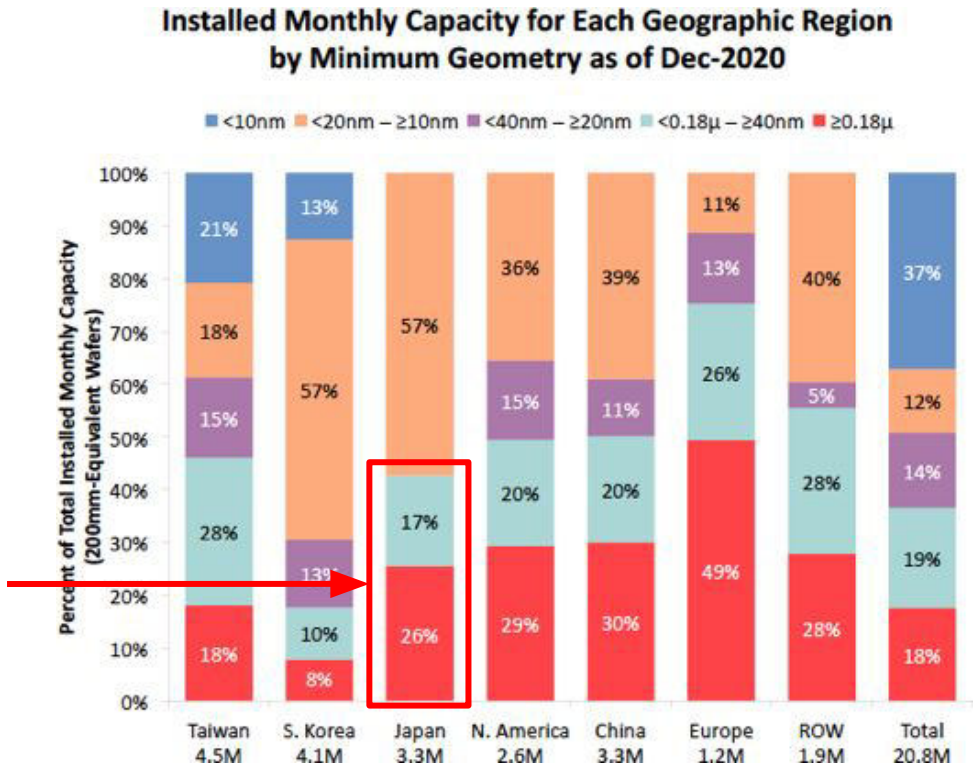
N28で、史上初めてチップ価格が（一時的に）上がった。

リーク電流増大も大きな懸念だったが、これはFinFETとDark Siliconの登場で、解決した。

成熟ファブ活用の経済効果 → 数兆円

- 3年間で資金16億円かけて、オープンソースソフトCOT*インフラを導入。
- 顧客がEDAツールに投資せずとも開発が開始できるようにする。
- ファブ間インターオペラビリティを実現する

太線プロセスファブ
3.3M x 800 USD x
43%（対象微細度）x
30%（推定非稼働比率）
= 340 M USD / 月
= 440億円 / 月
= **5,300億円 / 年**



- 好況時（今）は、台湾ファブ稼働率95＋%。国内ファウンドリは稼働率悪いものもある。
- 海外企業による資金注入を受けずに、国内ファブを安定経営できる仕組みを政官民のコンセンサスで社会実装する。
- 好況時は稼働率アロケーション、不況時は使用率を平準化することができる仕組みをあらかじめ作り込んでおく。
- ブラウザ、OS、クラウド、ネット技術を最終的には、オープンソース技術が置き換えた。

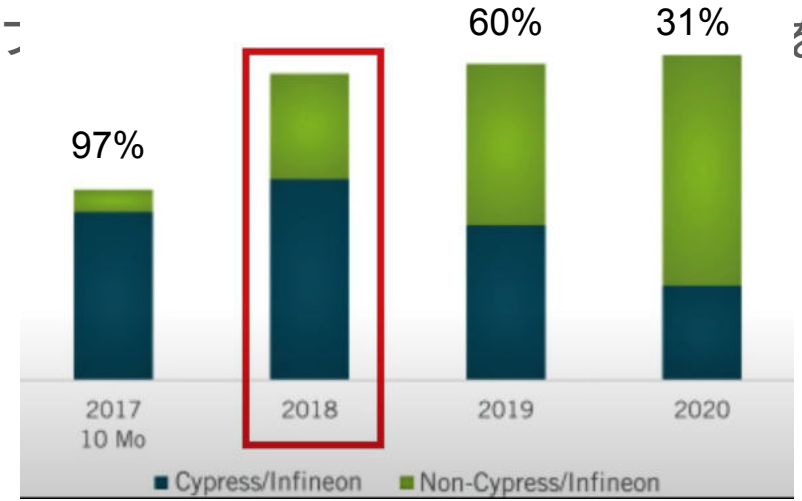
出展： IC Insightsのグローバルウェーハキャパシティ 2020-2024レポート

スカイウォーターテクノロジーズ

- アメリカで数少ないピュアプレイファウンドリミネソタ州ブルーミントン
- 防衛で1A認定を受けた7つのアメリカのウェハファブの1つ
- カスタム開発サービス、大量生産、高密度パッケージング　を　特徴
- 2017年に、プライベート エクイティ オックスボウがブルーミントンファブを3000万ドルで買収。
  - ファブが「管理不足」と判断
  - 米国政治情勢の文脈から半導体のオンショアリングの傾向を予測
- 1990年：サイプレスはControl Data Corpからファブを購入
- 1991年ー2017年：サイプレスセミコンダクタが所有
  - プロセスノード: 130nm、90nm　→　65nm　アップグレード
- 大きなファウンドリに適さない特殊な少量のチップを生産
  - アナログ＋デジタル両方が搭載されるミックスドシグナル回路
  - 低遅延高速データアクセスSRAM

スカイウォーターテクノロジーズ

- SkyWaterファブ設立時、サイプレスと3年間のウェハ供給契約を締結
- 設立時、会社の収益の97%はサイプレスから
  - 1か月に12,000枚のウェハを製造可能
  - 直径200mmのウェーハと30のマスク層を想定
  - TSMCギガファ[illegible]を製造可能



スカイウオータ テクノロジーズ

- 2019年、耐放射線性」半導体に国防省は＄170M契約
- ＄80Mで3番目のクリーンルームを追加。銅配線インターコネクトの能力追加
- 2021年1月、高度な半導体パッケージングサービスを提供する施設を買収
  - 36の顧客75%　＋　インフィニオン25%
  - 専門的　かつ　少量生産　さらに　速いターンアラウンドタイム
  - 政府との緊密な関係に依存　DMEAカテゴリ1A認定
- 政府目標は、商業的に使用できる機能を立ち上げる
- カーボンナノチューブトランジスタ
- D-Waveの量子コンピューターのキュービット
- 2021年4月、SkyWaterはIPOを成功させ、1株あたり14ドルで、696万株を売却。
- 2021年5月時点で、同社は約8億ドル（$800M）の価値があります。
- オックスボウは、74%を所有。つまり4年間で20倍にした。

2019年提案に対しての現況（2022年）

アマゾンBYOC方式を使い
認証サーバを流用。

アマゾン AWS IoTコア｜
ラムダ ｜S3 活用

RISC-V SoC
ツール活用

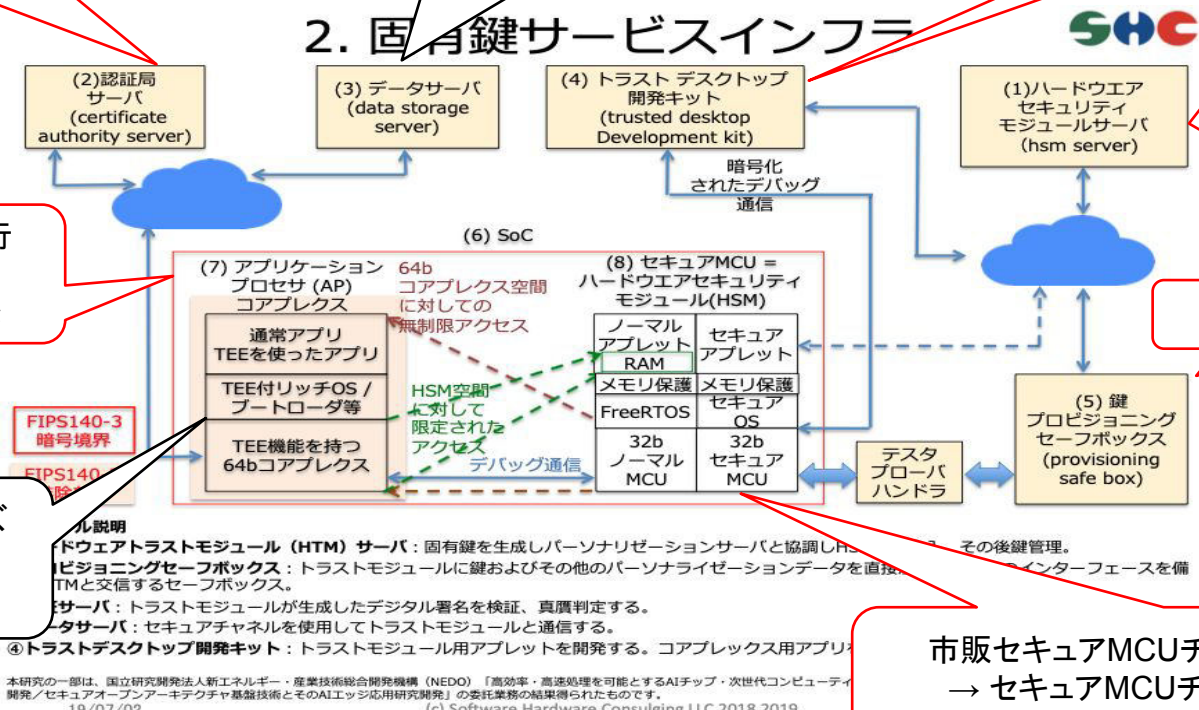
市販セキュアMCUが
提供するIoT、HSM管
理サーバ活用

RTOS型へ移行
→RISC-V
IoTボード開発

市販セキュアMCU
サービスを活用

屋外商用ニーズ
→RTOS方式
にフォーカス

市販セキュアMCUチップ供給開始（2020年）
→ セキュアMCUチップ、セキュアOS開発
→ eFablessのSKY130で試作



6. まとめ

1. Linuxシステム に比較して RTOSシステムは、消費電力が少なく、ソーラパネル、リチウムで電力供給に適している。
2. RTOS　IoTにルートオブトラストチップを集積した。
3. RTOS用デバイス認証、遠隔ソフトアップデート（OTA） を実現。
4. チップ電源電流測定でマルウエアを検出する研究をしている。
5. OTA、マルウエア検出、TensorFlowLiteはMB単位のメモリ必要
6. 大容量外付メモリを接続できるカスタムSoCをオープンシリコンで試作中。
7. これをMarmot IoTボックスに使う。

謝辞 この成果は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技 術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP16007)「セキュ アオープンアーキテクチャ基盤技術とその AI エッジ応用研究開発」の結果得られたものです