

IoTの新しい応用やサービスをみんなで開拓する オープン・プラットフォーム「Leafony」 — IoT/CPSアプリの開発効率を断然アップ —



トリリオンノード

東京大学 名誉教授
トリリオンノード研究会代表
桜井貴康
<https://www.trillion-node.org/>



この資料の一部は、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) 助成事業の結果得られたものです。

今までの経緯



- 開発プロジェクト名 → トリリオンノード・エンジン
- 仕様などfixして公開したもの → Leafony
- 丁度、NEDO事業全体の成果を公開したところ

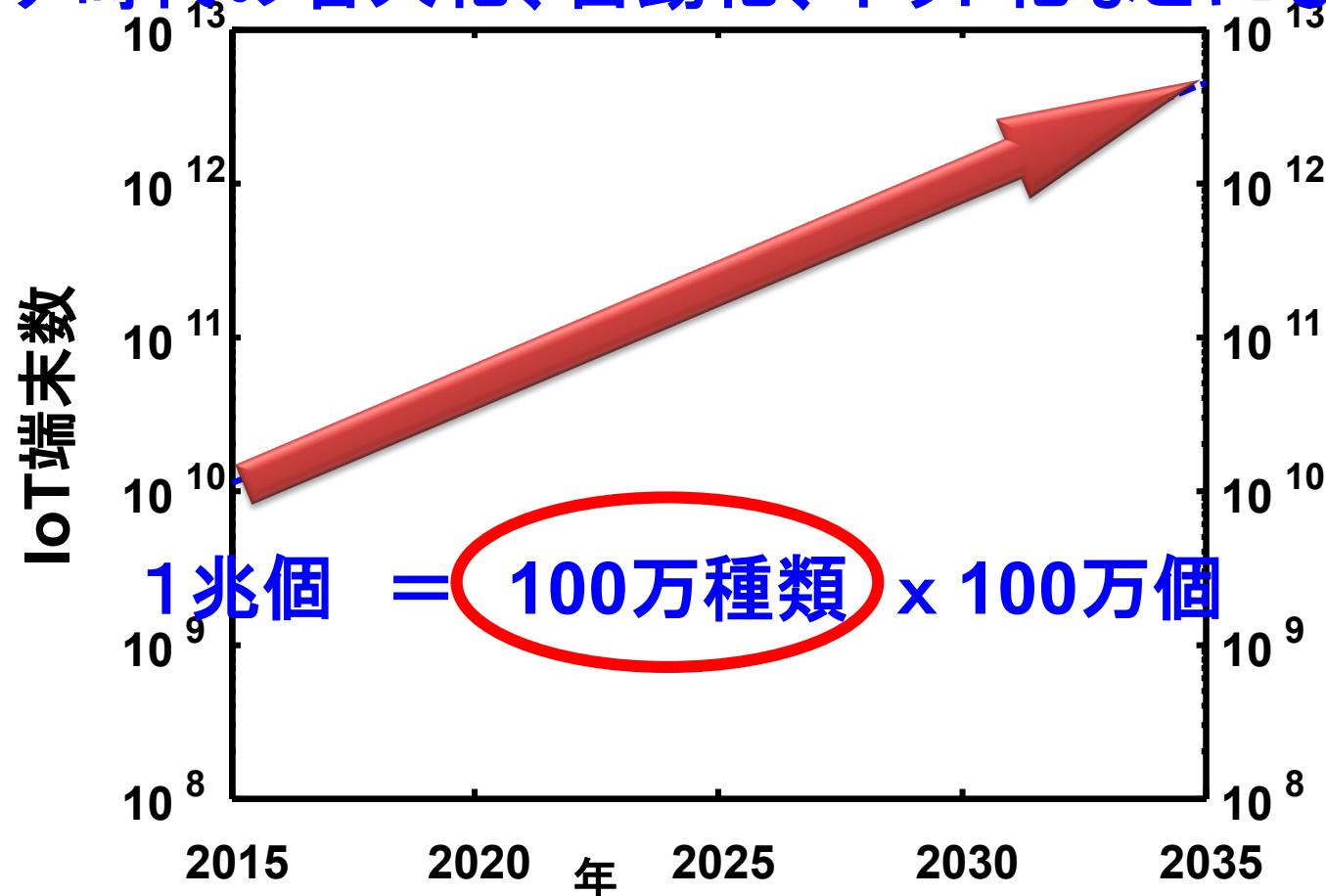
アウトライン

- 背景
- Leafonyとは
- 頒布リーフ群
- 利活用シーン
- Leafonyの進展



IoT: アプリ、サービスが大切

コロナ時代の省人化、自動化、ネット化などにも効果



- 2020年に世界のIoT端末500億個、2030年に1兆個程度
- 農業、医療、産業用機器、民生機器、クルマなどに2030年まで経済波及14兆ドル
- アプリやサービス探索が重要。特に、電源線がなく、小型が新しいアプリを開拓。

IoTアプリ開拓に向けたシステム開発の課題

- 構造物、工場、シティー、ウェアラブル用途などシステムは千差万別。
最初は数が少ないかもしれない→開発効率の大幅アップ
- 電源線がなく、小型、軽量が新しいアプリを開拓
H/W、S/W含めシステム開発が難しい→小型・低電力
- バリューチェーンが確立されていない→アプリと技術をつなぐ仕組み



IoTアプリ開拓に向けたシステム開発の課題

- 構造物、工場、スマートシティ用途などシステムは千差万別。
最初は数が少ないかもしれない→開発効率の大幅アップ
- 電源線がなく、小型、軽量が新しいアプリを開拓
H/W、S/W含めシステム開発が難しい→小型・低電力
- バリューチェーンが確立されていない→アプリと技術をつなぐ仕組み
トリリオンノード研究会

Leafony

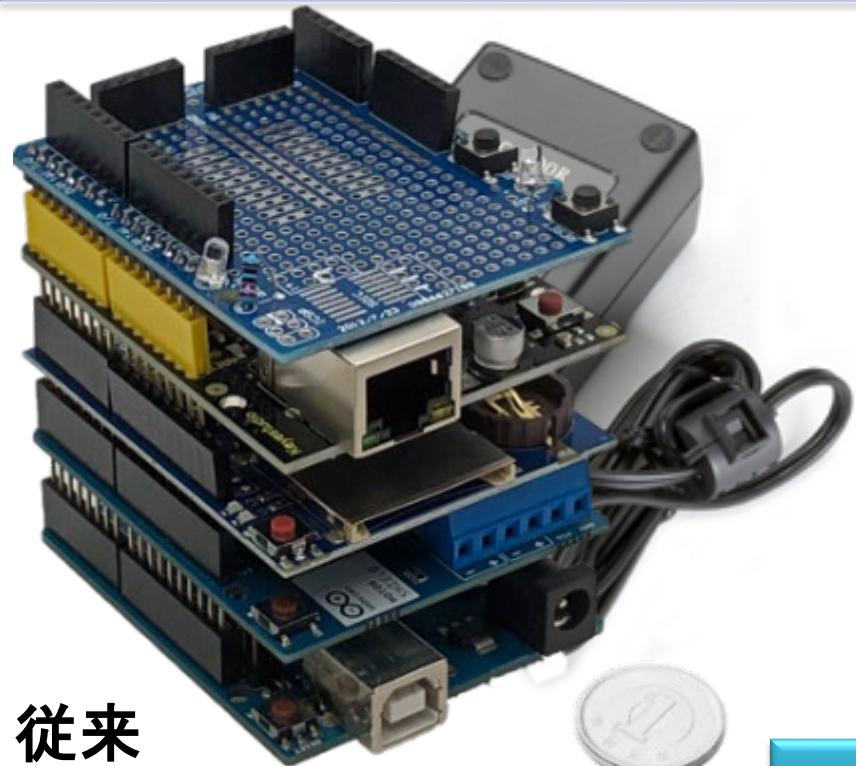


アウトライン

- 背景
- Leafonyとは
- 頒布リーフ群
- 利活用シーン
- Leafonyの進展



Leafony:簡単にアプリをトライできるプラットフォーム



従来

Ex. ~500cc、~300g、~200mW
Standby不可



● 超小型で組立簡単

● 電池動作可能

● オープンソース・ハード／ソフト

● リーフ(電子基板)製作簡単



Leafony

Ex. ~10cc、~20g、
~20mW (active時)
~50μW (standby)

- IoTシステムが容易に創れるプラットフォーム
- トリリオンノード・エンジンプロジェクトで研究開発が終了した部分を公開したもの→**Leafony** (=Leaf + Symphony)

Leafonyとは



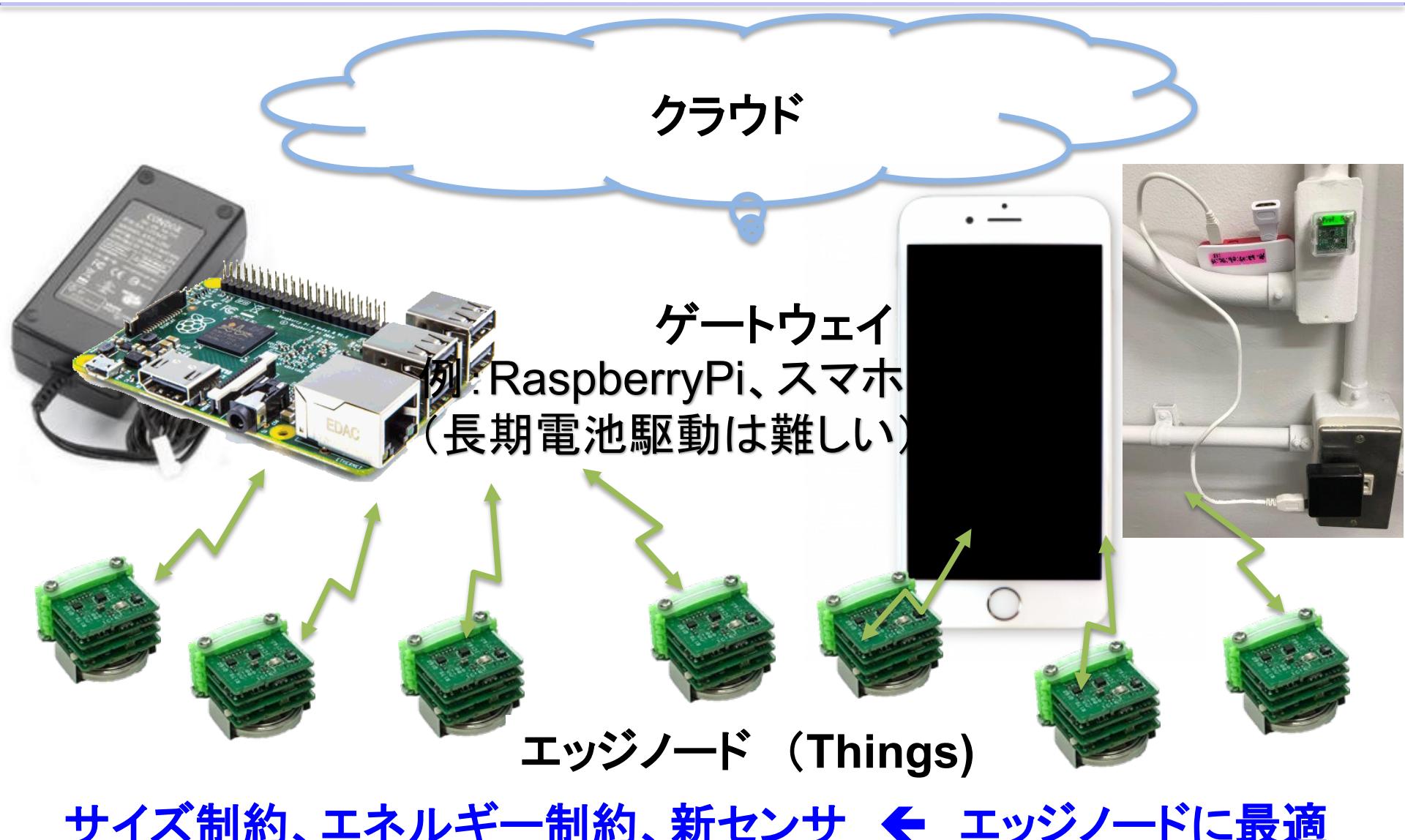
Leafony

みんなで創る IoT / CPS プラットフォーム

超小型・低電力
オリジナルリーフも追加簡単



特にエッジノードに最適





Leafony(リーフォニー)の技術 小型化



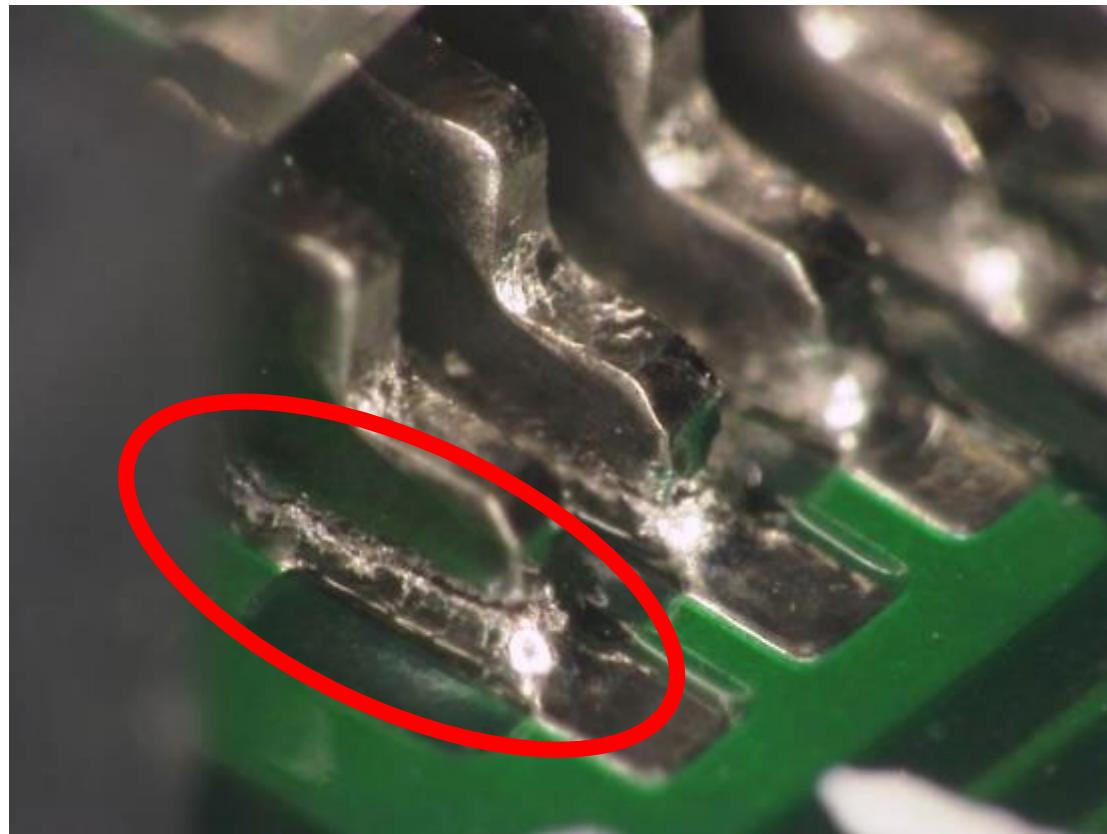
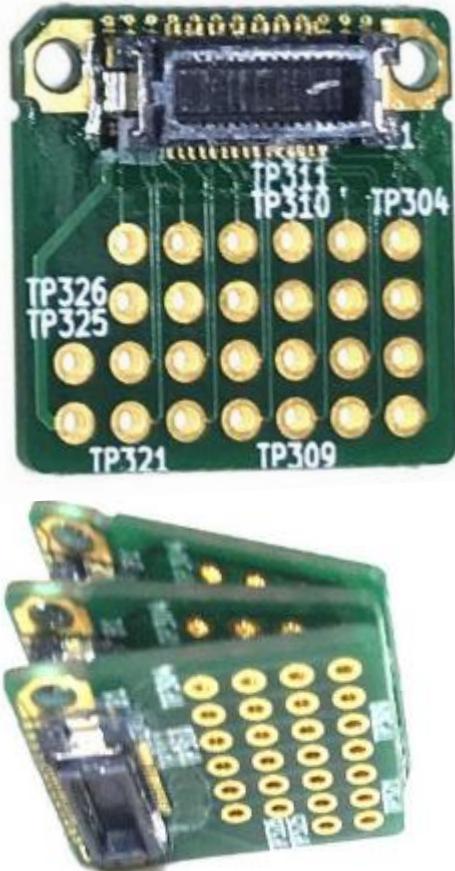
従来

- 超小型で組立簡単
- 電池動作可能
- オープンソース・ハード／ソフト
- リーフ(電子基板)製作簡単



Leafony

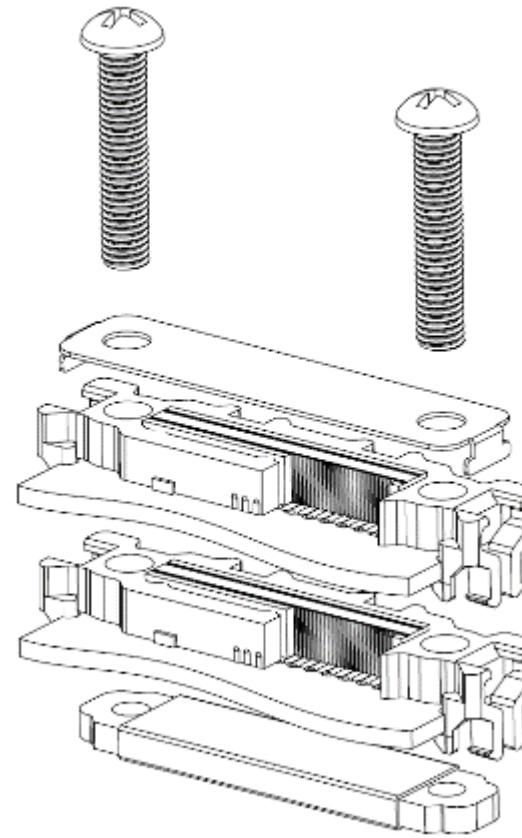
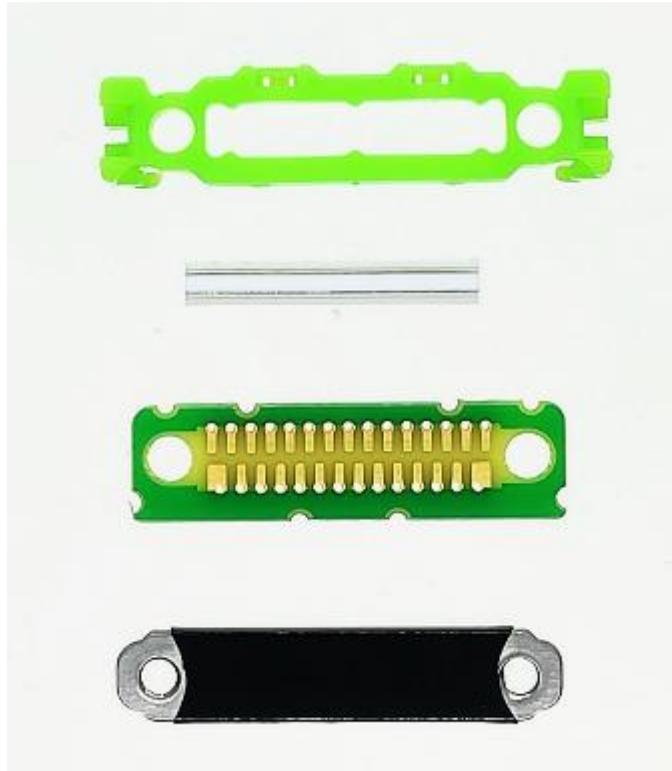
小型化のためのコネクト技術



- 不安定
- ボード作製段階で特殊コネクタ必要

→ 堅牢性向上のため、コネクタとねじ止めを同時に行うとハンダにクラック
→ 異方性導電ゴムを利用したコネクト方式

独自開発の半田を使わないコネクト技術



- リーフを設計、作製する上でコネクタは不要→リーフ製作簡単
- ブロック玩具のように組立簡単

Leafonyバスの仕様だけ守れば接続可能



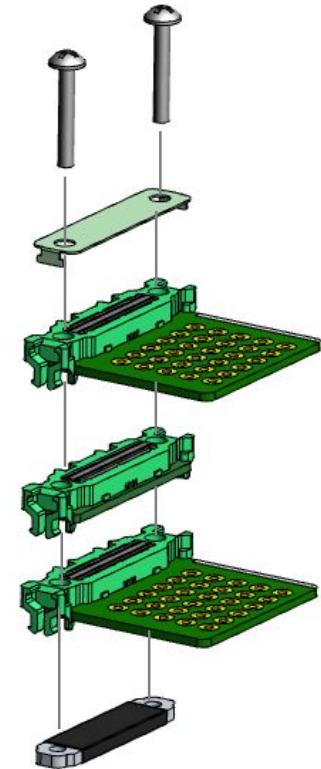
スペーサを入れれば高さも自由

この29ピン部分のみ
電気的／形狀的仕様あり

大きさ自由
層数自由
高さ自由
どこでもできる設計ルール
どこでも誰でも作れる技術



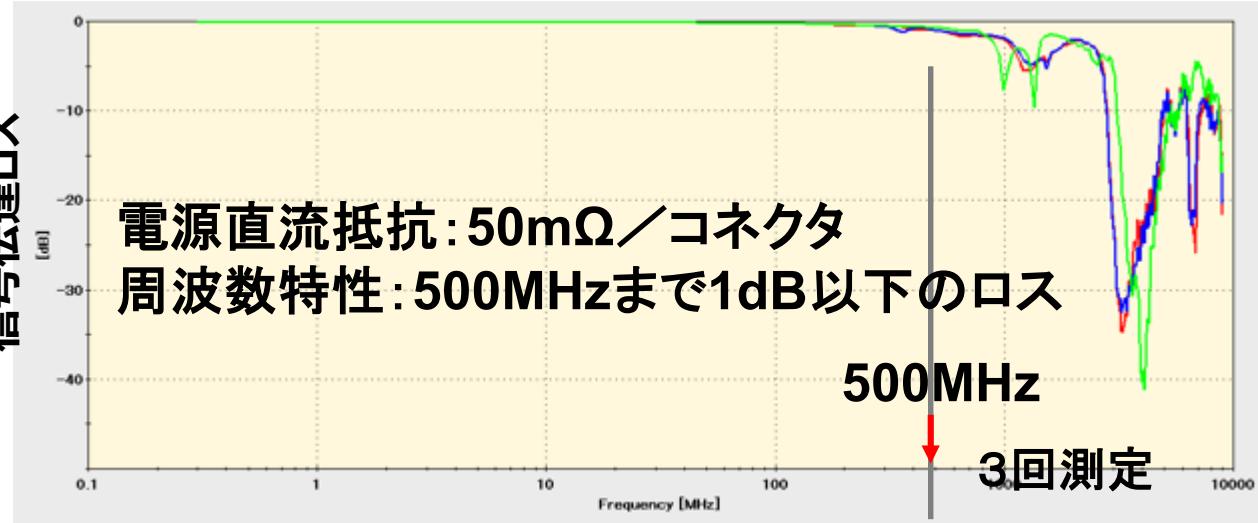
ホルダー
異方性導電ゴム
スペーサ
ナット



- リーフを作製する時にコネクタは不要 → リーフ製作簡単
- ブロック玩具のように組立簡単

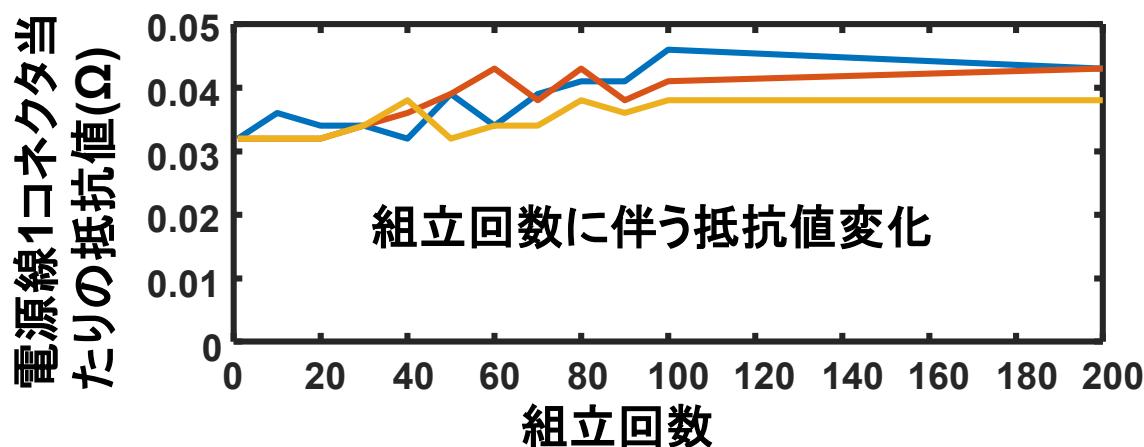
コネクタの電気的特性

はんだを使わないコネクション方式



1枚目から4枚目までの伝達特性
赤: コネクタ中央
青: コネクタ中央(組みなおし)
黄: コネクタ端

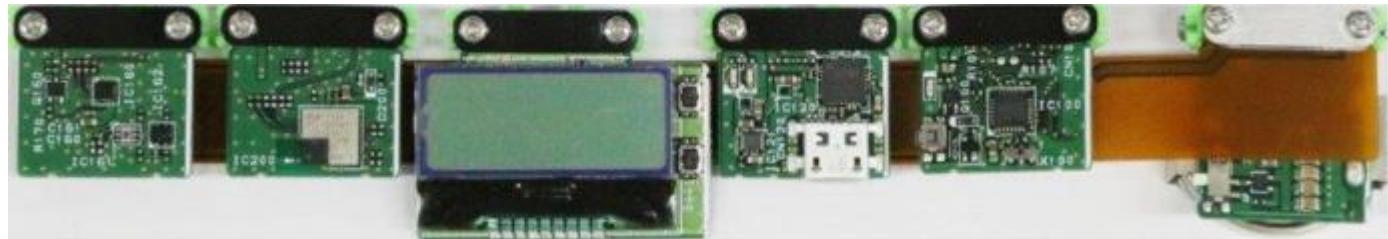
200回の組立直し、電源線ピン50mΩ以下



リーフ接続例



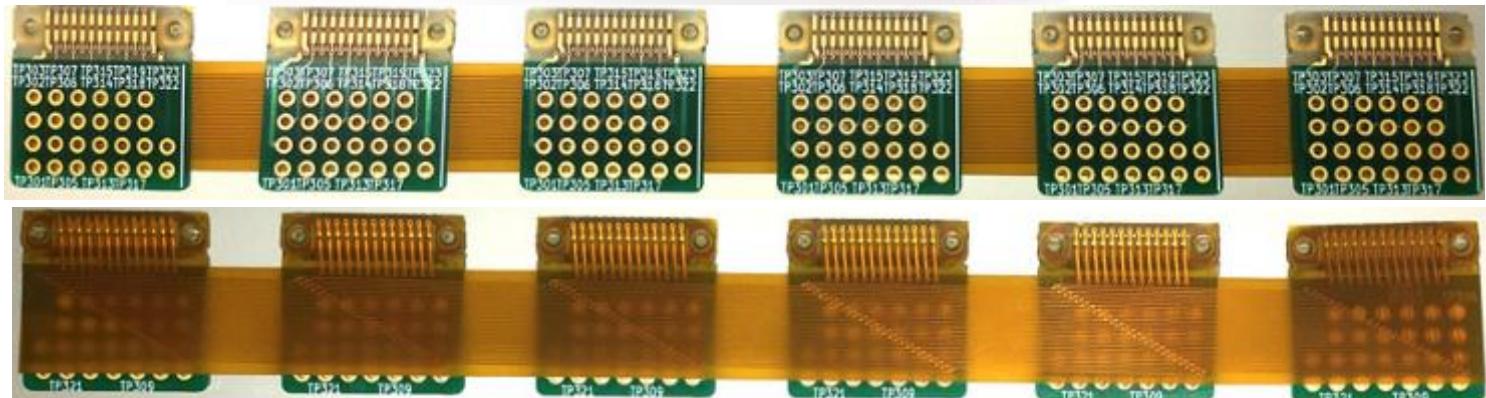
積層接続



平置き例(フレキ接続)



平置き例の応用
腕巻き
ベルト



熱圧着技術を使えばこんなに薄く



Leafony(リーフォニー)の技術 低電力



従来



- 超小型で組立簡単
- 電池動作可能
- オープンソース・ハード／ソフト
- リーフ(電子基板)製作簡単

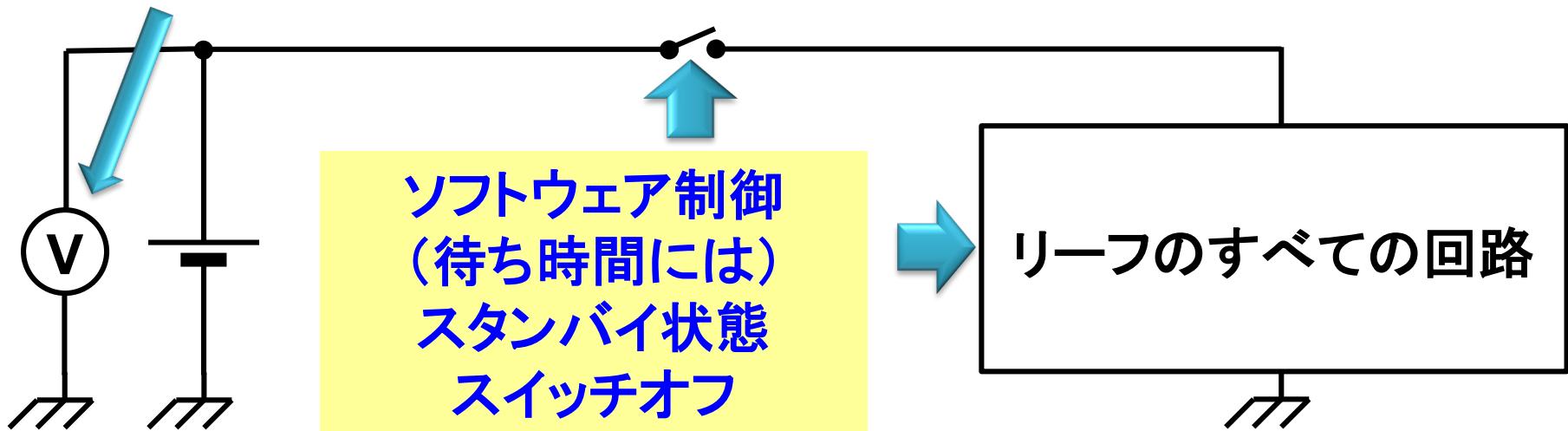


Leafony

低消費電力アーキテクチャ

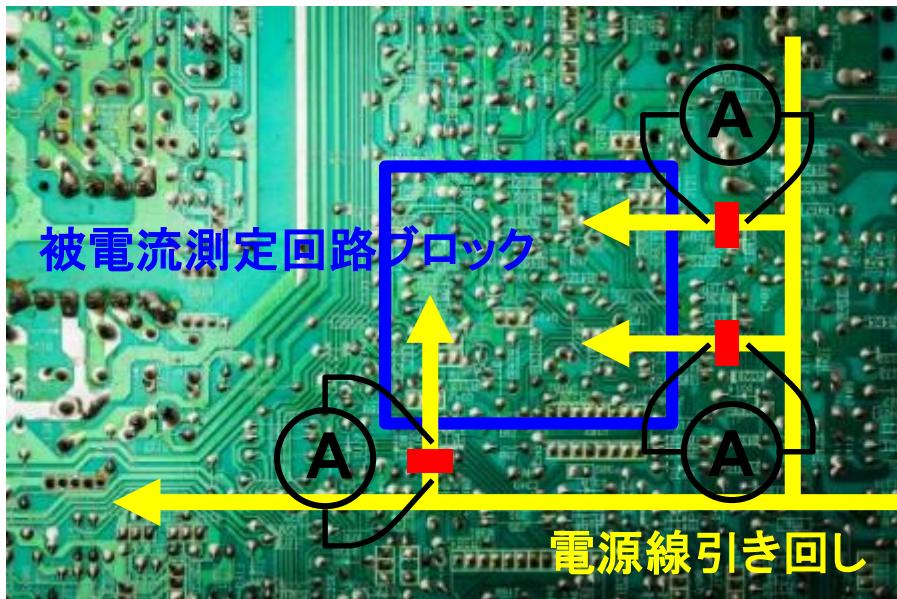
- すべてのリーフにスタンバイモード付加
不使用の時にソフトで低消費電力化が可能
- 必要な時に測れる電池電圧モニターを付加

電池電圧モニター付き

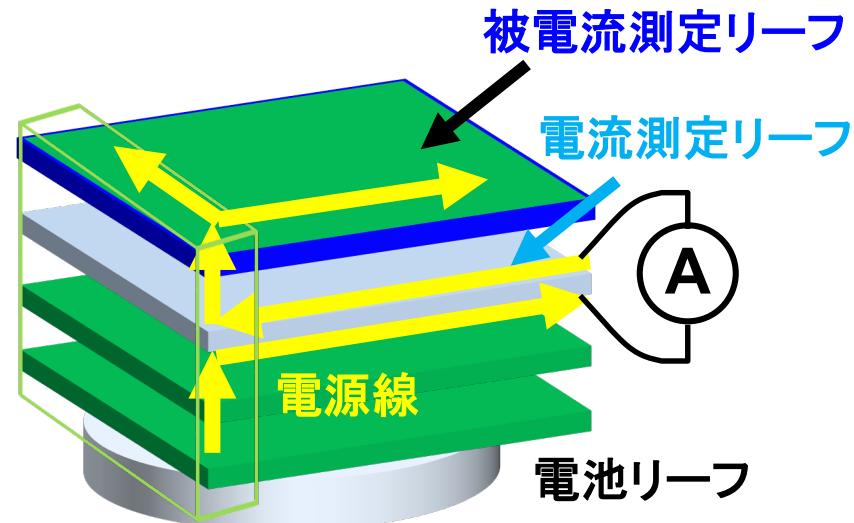


個々のリーフの消費電力を容易に測定可能

従来:回路ブロックの電流測定が困難



Leafony



■ 電源線の切断必要部分

- 電流測定リーフを入れるだけで個々のリーフの電流測定が容易
- 低消費電力システムのデバッグが可能→電池システムの開発加速

低消費電力システムのデバッグ例

- Bluetoothシステムの例:
電流測定リーフを使ってデバッグは容易に

対策前

対策後

ハード・ソフトによる低電力化

Leaf	送信時の電流[mA]	待機時の消費電流[mA]
AVR(μP)	3.6	0.112
BLE	3.3	0.009
Sensor	0.1	0.002
USB	10	10
合計	17	10.1
電池寿命	約3日	

Leaf	送信時の電流[mA]	待機時の電流[mA]
AVR(μP)	3.6	0.005
BLE	3.3	0.009
Sensor	0.1	0.002
USB	0.001	0.001
合計	7	0.017
	約1年	

- 電池はCR2540(610mAHr)、60分に30秒だけ活性化すると仮定。

Leafony(リーフォニー)の技術 ソフトウェア



従来

- 超小型で組立簡単
- 電池動作可能
- オープンソース・ハード／ソフト
- リーフ(電子基板)製作簡単

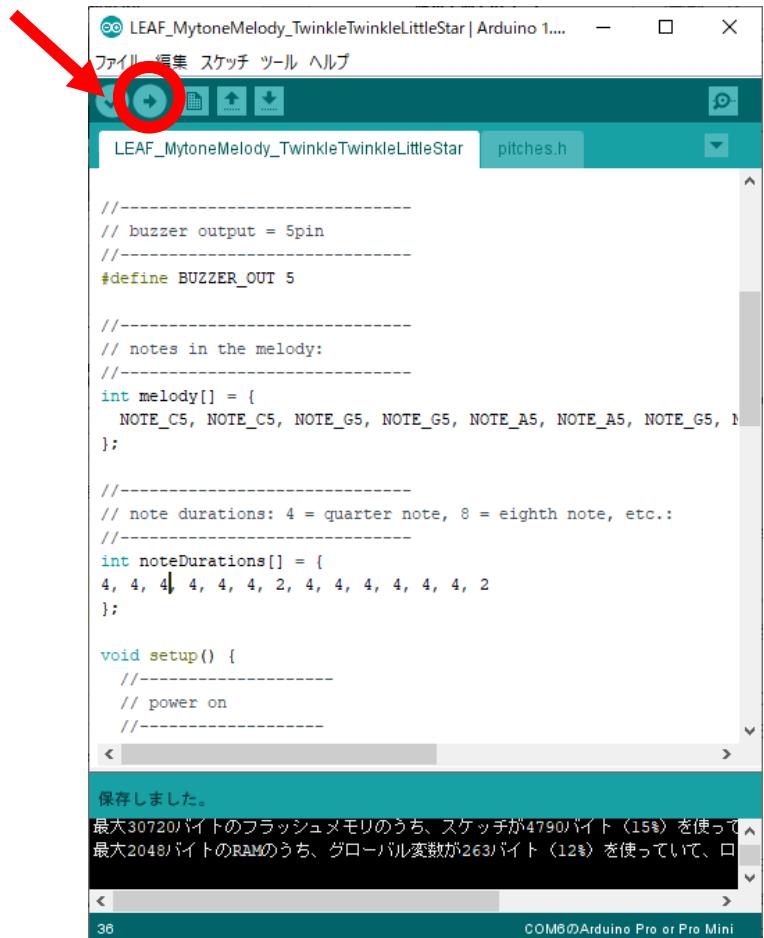


Leafony

ソフトウェア開発も容易 デモ

このボタンを押すだけで、コンパイルやフラッシュメモリへの書き込みなどが自動的に行われる

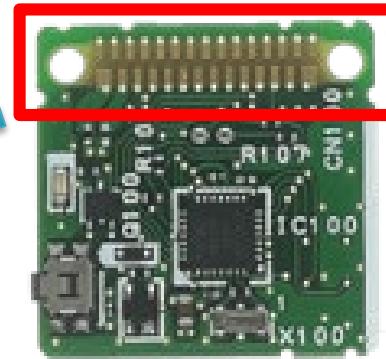
- ソフトウェアはArduinoコンパチ、数万本のソフトがダウンロード可（ミュージシャンやアート系の方も自らプログラムして利用）
- CPUリーフを変更すれば、その他のソフトウェア開発環境でも使用可能。例：mbedなど



```
LEAF_MytoneMelody_TwinkleTwinkleLittleStar | Arduino 1.8.10  
ファイル 報告 スケッチ ツール ヘルプ  
LEAF_MytoneMelody_TwinkleTwinkleLittleStar pitches.h  
  
//  
// buzzer output = 5pin  
//  
#define BUZZER_OUT 5  
  
//  
// notes in the melody:  
//  
int melody[] = {  
    NOTE_C5, NOTE_C5, NOTE_G5, NOTE_G5, NOTE_A5, NOTE_A5, NOTE_G5, NOTE_B4,  
    NOTE_G5, NOTE_G5, NOTE_G5, NOTE_G5, NOTE_A5, NOTE_A5, NOTE_G5, NOTE_B4  
};  
  
//  
// note durations: 4 = quarter note, 8 = eighth note, etc.:  
//  
int noteDurations[] = {  
    4, 4, 4, 4, 4, 2, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 2  
};  
  
void setup() {  
    //  
    // power on  
    //  
}  
  
保存しました。  
最大30720バイトのフラッシュメモリのうち、スケッチが4790バイト（15%）を使って  
最大2048バイトのRAMのうち、グローバル変数が263バイト（12%）を使っている、ロ  
COM6のArduino Pro or Pro Mini
```

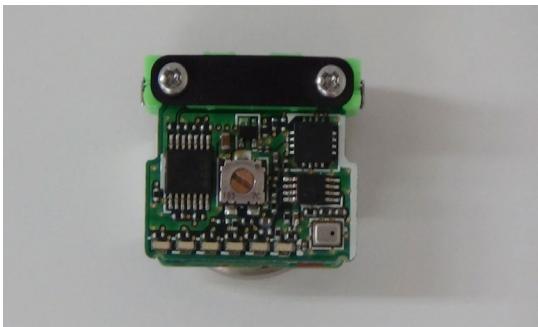
Leafonyのデータを一般公開完了

- 仕様書、回路図、パターン図、応用例、ソフトウェア*などオープン、商業的にも自由に無償で使用可
ライセンス関係の詳細は
- Leafony <https://docs.leafony.com/docs/license/>
- Leafonyは商標登録。
リーフ上にLeafonyという表示は
Leafony Systemsだけ
- Leafonyバス
20mm x 5.5mmのバス領域。アートワークはCC-BYライセンスで公開。使用の際は、Leafonyバス準拠などと表示をお願い致します。その他のリーフのアートワークの著作権は主張しません。



アプリ例などビデオ化とドキュメント化して公開

- 教育用(LED&Mic&Vol)
デバイスとソフトウェアの関係を知るには好適



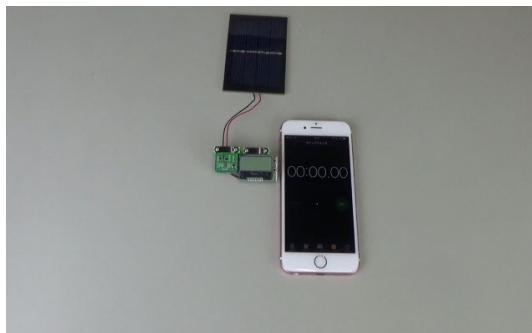
- 人が近づくと音が鳴る
人感センサを利用したCPS、冷蔵庫に子供が近づくと音が鳴るとか



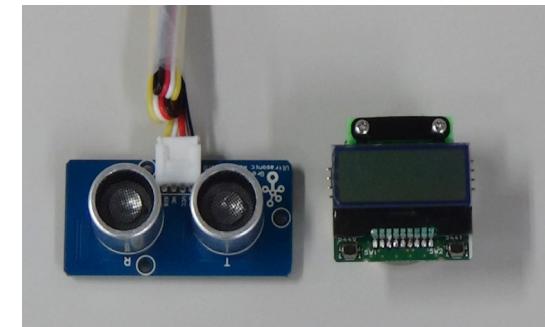
- よくあるIoTの例
8エッジデバイスをPCにBLEで繋いでロギング



- エナジーハーベスティング
太陽電池を使って、昼に充電、夜も動くIoT



- 外販のセンサを接続
標準的になっているGroveコネクタを使って簡単に接続



- LoRa
ドローンに載せて、11.8Kmまでデータ100%通信可能



- 背景
- Leafonyとは
- 頒布リーフ群
- 利活用シーン
- Leafonyの進展



公開リーフ／キット一覧

Basic Kit

Extension Kit

ESP32 Wi-Fi Kit

通信

マイコン

電源



Bluetooth



LoRa



ESP32
Wi-Fi



AVR
マイコン



CR2032
コイン電池



CR2450
コイン電池



2~4.5V
一般電池



単三電池

その他



USB
電源



RTC &
microSD



温度・湿度・
照度・加速度
センサ



スピーカ
人感センサ



Var. R
マイク



ディスプレイ

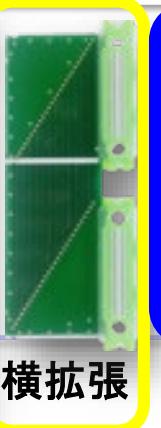


コネクタ
x 10
ナット
プレート
x 10

各種接続



Arduino
シールド



縦拡張



29ピン
ピンヘッダ
付き



29ピン
信号
取り出し



スペーサ



電流測定



Grove
コネクタ

横拡張

頒布キット 3種類

Basic Kit 2

コイン電池でも動くセンサ、BLE基本キット



トリリオンノード 検索

ESP32 Wi-Fi Kit

ESP32(32bit CPU)、Wi-Fi対応パワフルキット
(コイン電池では動作不可)



Extension Kit

各種の拡張機能リーフを集めたキット



外部機関からのリーフ例

Nexty



32bit MCU1



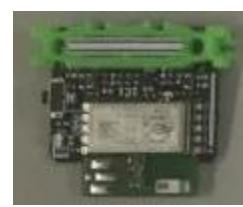
32bit MCU2



超低電力
加速度センサ



センサ



BLE



USB

Ricoh

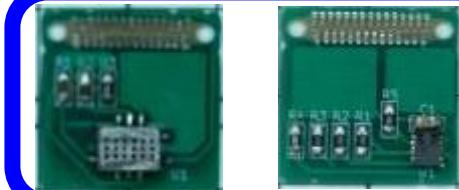


太陽電池電源



電源

Keio1



NO_xセンサ CO₂センサ

Keio2



H₂センサ
国際学会でデモ賞

U.Tokyo



FPGA
Sony

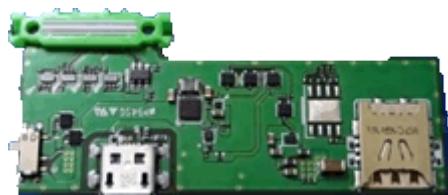
Toshiba



指紋センサ



セキュアエレメント



セルラー無線LTE-M



自社プラットフォームとの連携

エナジーハーベスティング向けリーフ REDC-EH01

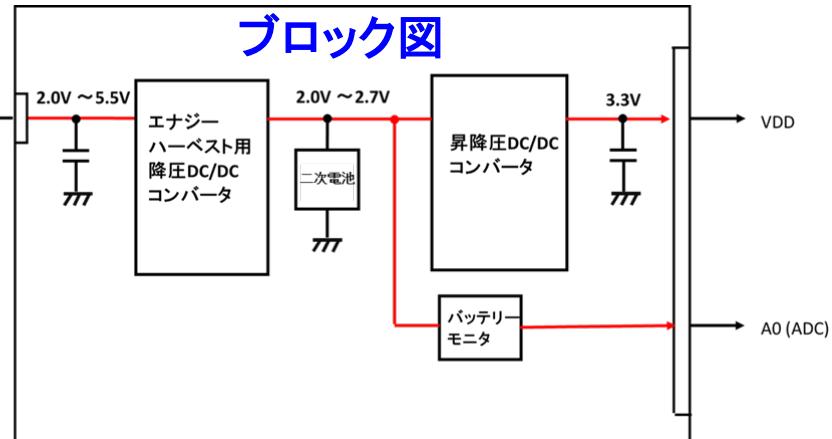
- 外付け太陽電池電力を昇降圧電源回路により
3.3Vに変換、各リーフに供給

- 最大電力点制御機能

- 余剰電力をリーフ内の二次電池へ充電

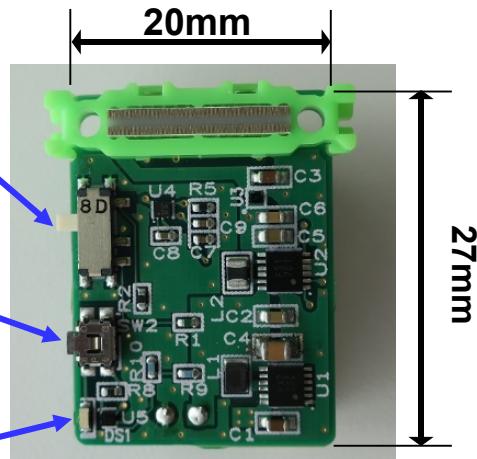
- リーフ搭載主要部品

降圧DC/DCコンバータ: R1800シリーズ
 昇降圧DC/DCコンバータ: RP604シリーズ
 LDO+バッテリーモニタ: RP124シリーズ
 ボルテージディテクタ: R3117シリーズ



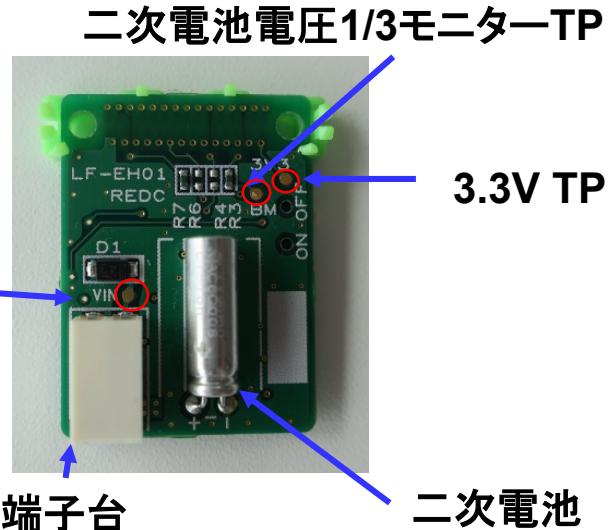
→ 高機能太陽電池ソリューション

表面



裏面

太陽電池パネル電圧TP



Chip1Stopで頒布中

(株)ネクステイ エレクトロニクスでのリーフ開発事例

概要

Analog Devices Inc. (ADI) 製加速度センサADXL362を搭載したLeafonyプラットフォームのNEXTYオリジナル基板

特徴

● ウルトラローパワー

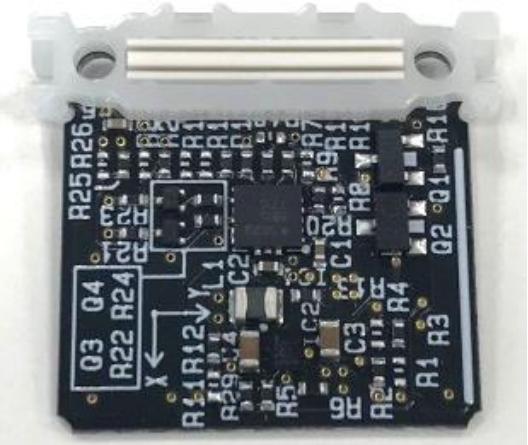
- 1.8 μ A (100Hz ODR測定時)
- 270nA (wake-upモードスリープ)
- 10nA (Standby時)

● パワーセーブ用機能

- モーション検知向けスリープ/ウェークモード
- 自律型割り込み出力で、MCUをスリープから復帰

● SPI制御

● 温度センサ内蔵



Chip1Stopで頒布予定

アウトライン

- 背景
- Leafonyとは
- 頒布リーフ群
- 利活用シーン
- Leafonyの進展



Leafony利用シーン

企業

IoTのProof of Concept (PoC)
R&D、実証実験、社会課題を解く
IoTシステム試作サービス
ICのレファレンスマネージメント
自社部品／技術の販売ツール
技術の再利用や伝承



個人

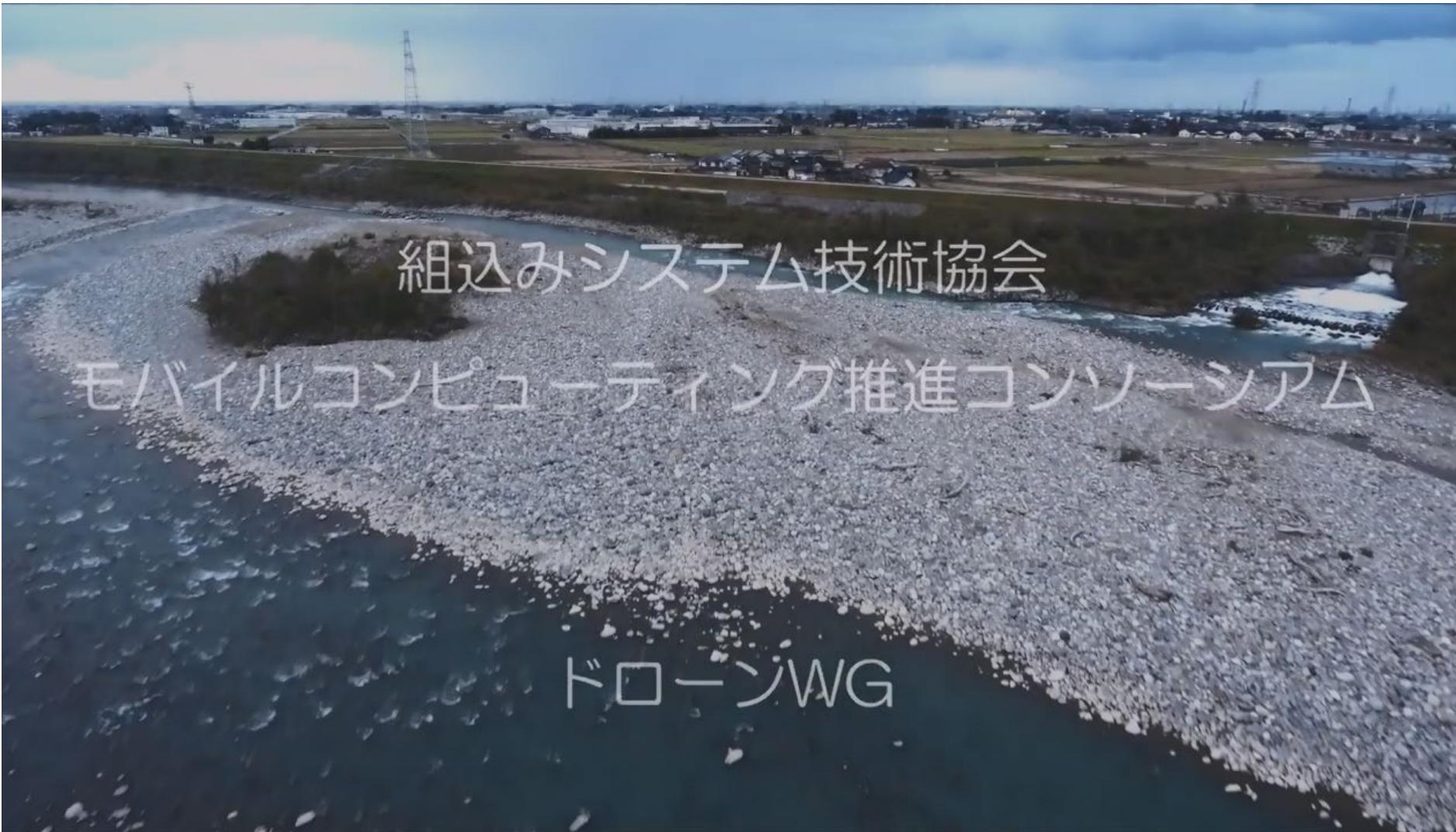
新しいアプリ、サービスの探査
手軽なガジェット創り



教育 / 大学

IoT教育
研究／実験
研究成果をデモし実用化加速

LoRaリーフのドローンへの活用例(企業)



JASA & MCPC ドローンWG @石川県 手取川



Leafonyを使ったシステム構築サービス提供

- HAL engineering
@ET展2019



- ELECOM
@ET展2019



- IoT-EX
@COMMAハウス

https://www.youtube.com/watch?v=7pL0QEK2C_U



人材育成とLeafony

● 企業社内 ハッカソン
IoT教育



● 埼玉大学 enPiT
IT教育授業



メディアカバー: 日経

● 2021年6月23日

日本経済新聞

1円玉大の基板でモーター制御

● 2021年6月23日

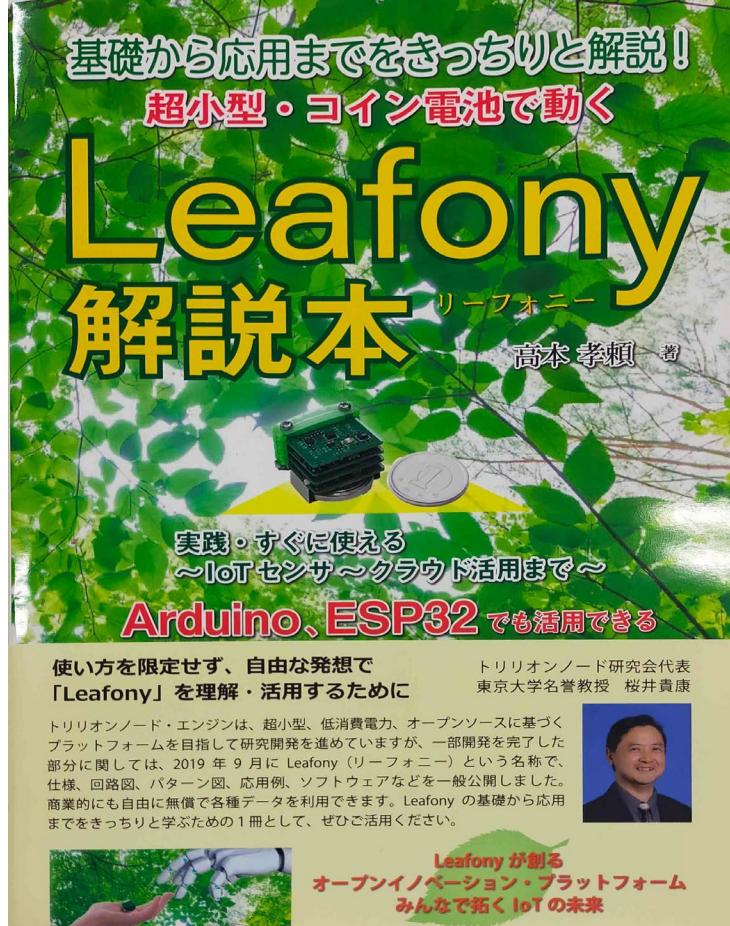
日経クロステック

日本生まれの超小型ボード「Leafony」



<https://trillion-node.org/forums/topic/20210709/>

職業能力開発総合大学校、教育にLeafony採用 北海道から沖縄まで約90校、約300キット利活用



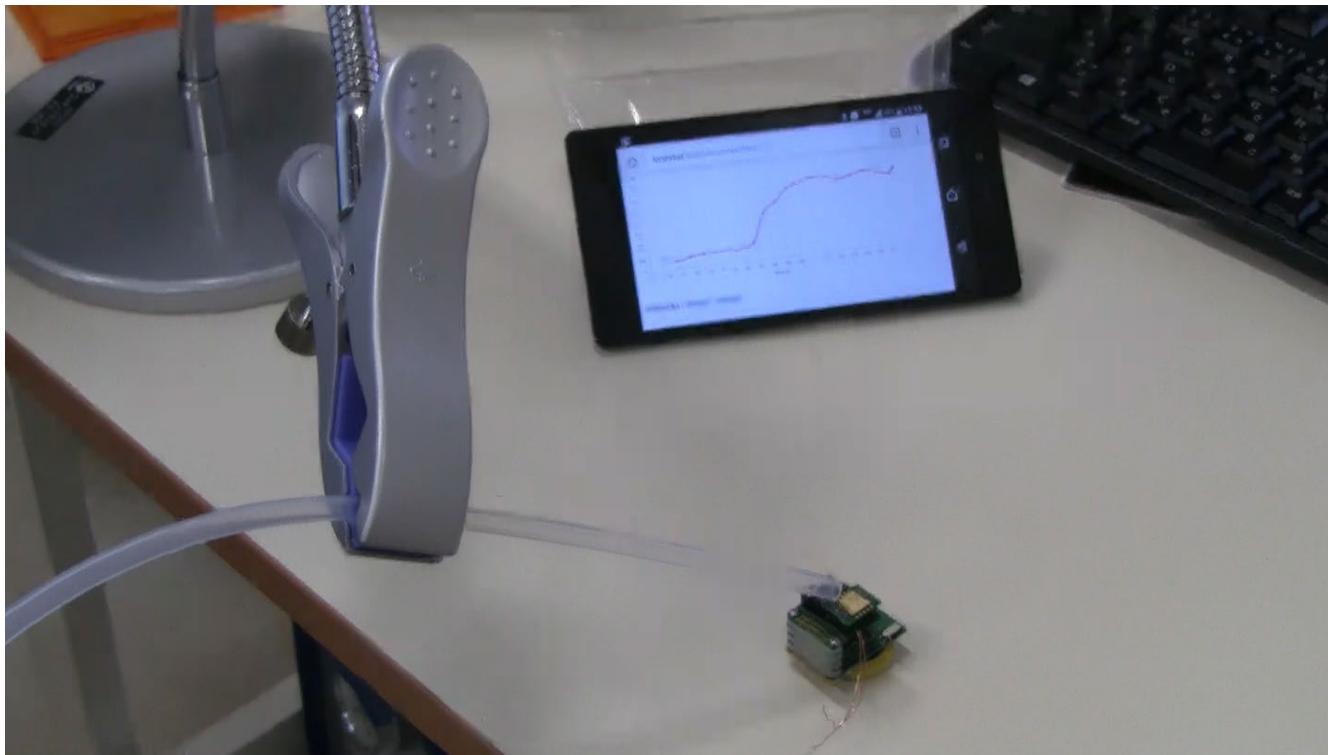
Leafony解説本

小型化デモなどで技術の価値をアピール 実用化を加速(大学)



慶應義塾大学、内田教授(当時)、石黒教授:人の呼気向け水素センサ端末
(JST ナノエレCRESTの成果)

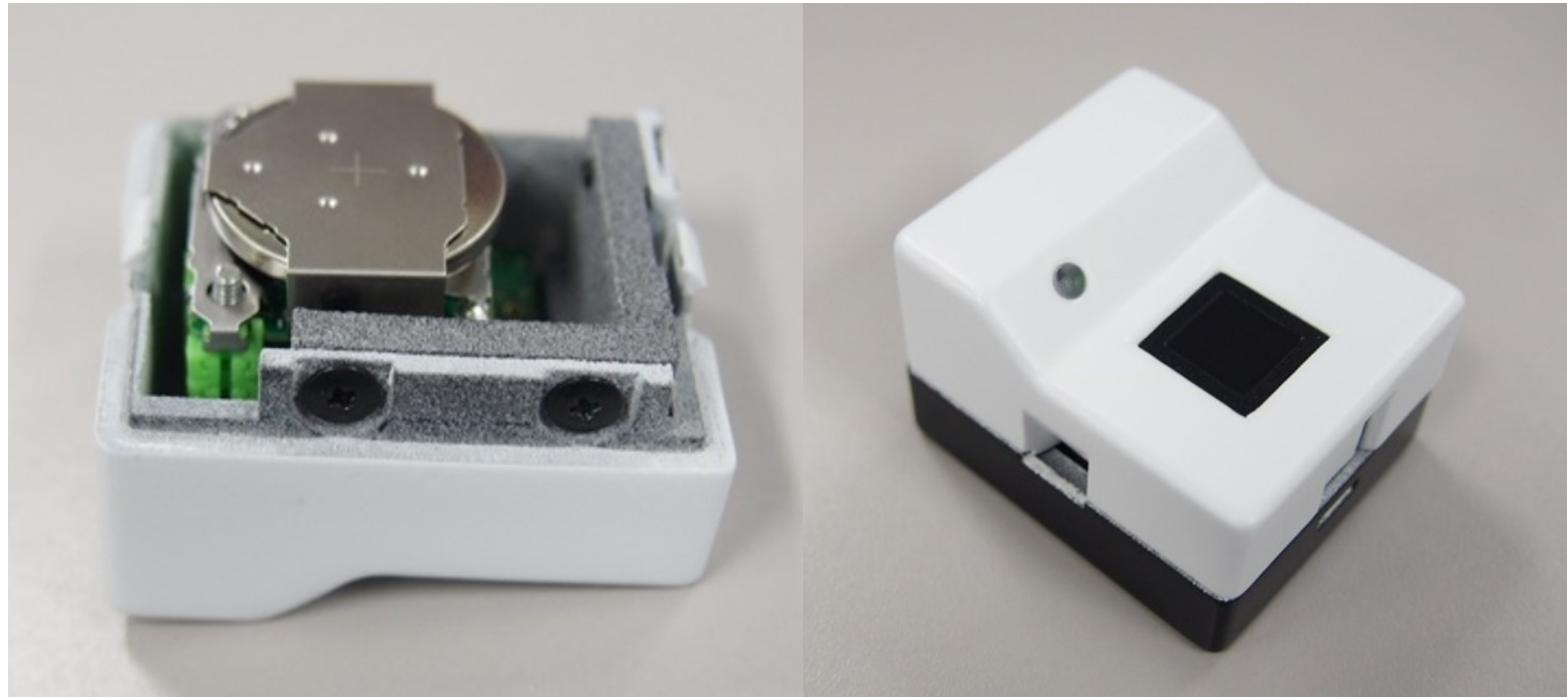
Leafonyでセンサリーフのみおこし、権威ある国際学会でデモ賞受賞
実用化を加速



小型デモなどで顧客に技術紹介

- (株)東芝インフラシステムズ

指紋認証システムを、独自の指紋認証リーフとLeafonyを使って
3Dプリンタで作成(外形:40×35×27(H)mm)



エレクトロニクス3Dプリンタでリーフを作る

- 株式会社FUJI FPM-Trinity
エレクトロニクス3Dプリンタを使って、IoTのPoCが1.5日で完成

製造



組立



アプリ検証



3Dプリンタ製造 1.5日
(3D設計・データ作成を除く)

Leafonyを使ったリモート・モニタリング

● 青葉電子株式会社（横浜市）

- ・集合住宅の共有スペースを活用したスマート菜園
- ・緑で繋ぐコミュニティ（ITOP横浜実証実験採択）
- ・都市緑地から始める食の地産地消
- ・栽培方式は土壤を使わない水耕栽培
- ・国産のIoTプラットフォーム「Leafony」とLPWA（LTE-M）を採用し小型・省電力を実現
- ・温度、湿度、日照量、土壤水分量などの計測データなどにクラウドを介して、いつでもアクセス可能



● 慶應大学 厳先生 都市を計るプロジェクト

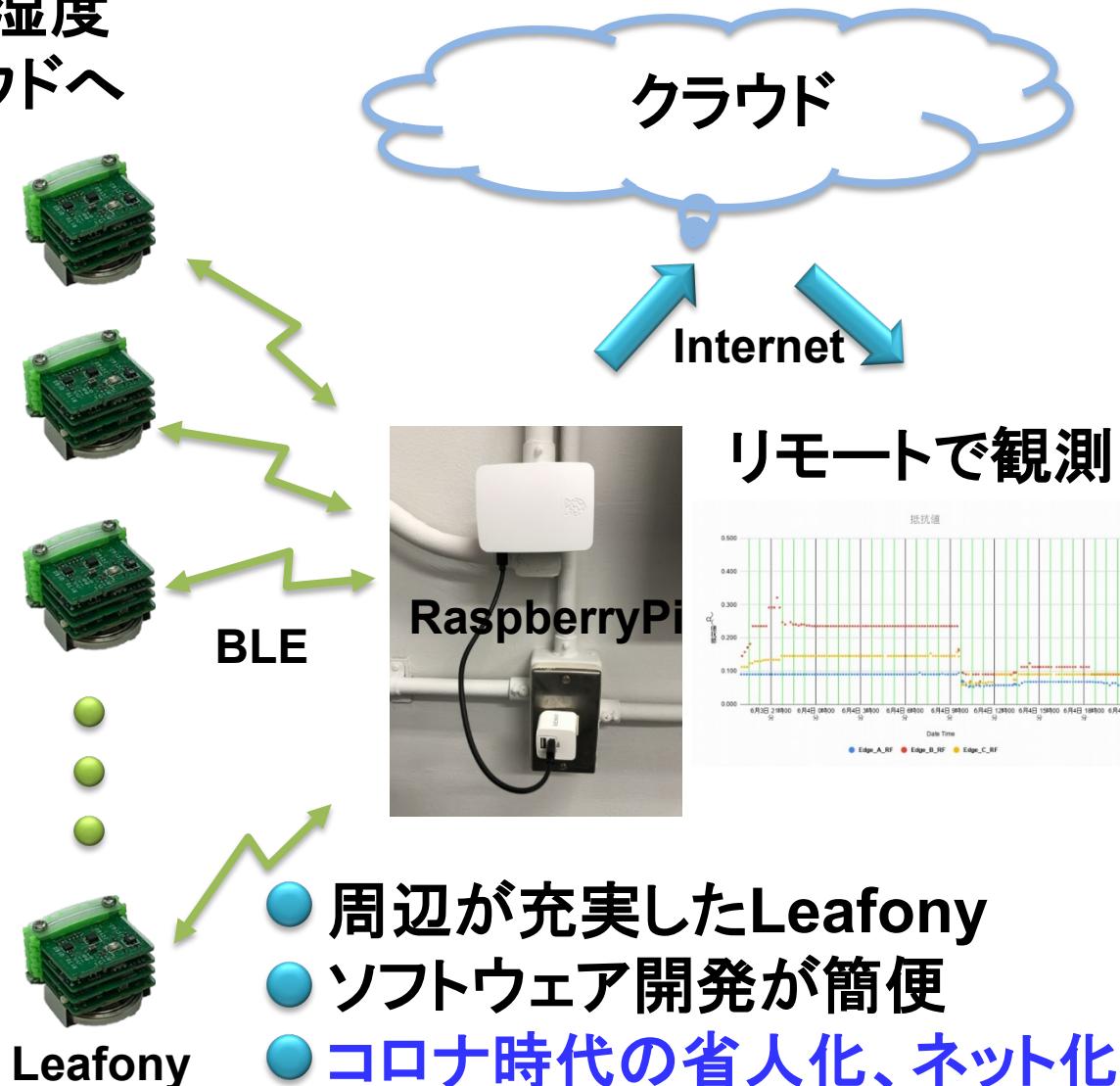


- ・都市を計測するIoTノード
- ・温湿度、照度、振動、気圧など
- ・KDDI LTM-Mリーフを利用
- ・小型化を検討中

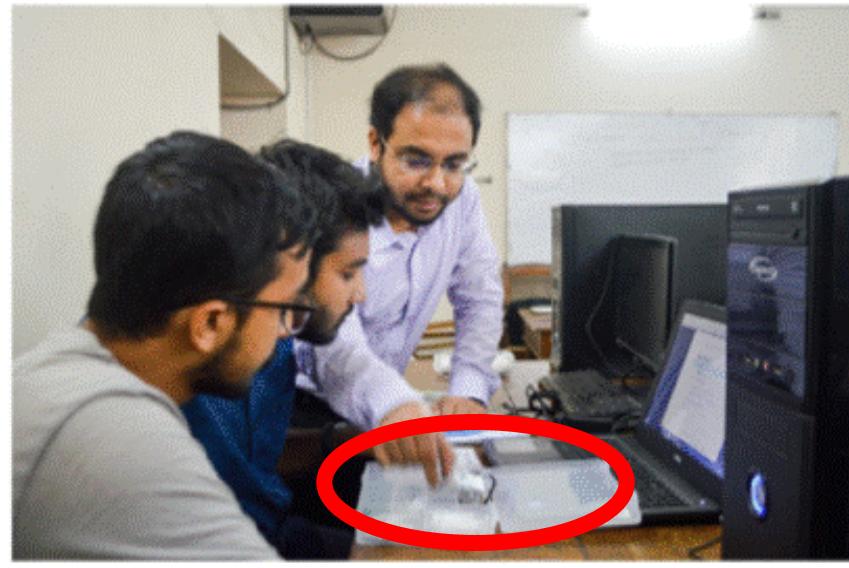


Leafonyを使った自動測定監視システム

- 30セットの抵抗、温度、湿度などを自動計測→クラウドへ



国際展開も容易: ダッカ大学の例



言語によらない汎用性



Leafonyでウェアラブル
→IEEE論文



st subject with the data logger and protective

トリリオンノード研究会(企業・法人向け)

- インフラ系、プラント系、システム系、通信キャリア、商社、総合電機、半導体、部品、実装系など(次のトリリオンノード研究会は2022年2月ごろ)



年2回開催
参加費75,000円



<https://www.trillion-node.org/>



- いち早くLeafony詳細情報にアクセス
- IoT関連アプリ／シーズの事例紹介
- シーズサイドとアプリサイドのマッチング
- 研究開発の方向性の議論に参加

トリリオンノード研究会 参加団体

1 IoT-EX株式会社	28 慶應義塾大学SFC研究所ソーシャルファブリケーション・ラボ
2 KDDI株式会社	29 慶應大学SFC
3 LEAFONY SYSTEMS 株式会社	30 計画工学研究所
4 Mouser Japan GK	31 埼玉大学
5 Quest7	32 三菱ケミカルエンジニアリング株式会社
6 STマイクロエレクトロニクス株式会社	33 新光電気工業株式会社
7 エイミー株式会社	34 新日本無線株式会社
8 システムニコル株式会社	35 青葉電子株式会社
9 セイコーホールディングス株式会社	36 川崎重工業株式会社
10 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社	37 大和無線電機株式会社
11 ディー・クルー・テクノロジーズ株式会社	38 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター
12 パナソニック株式会社	39 中部電力パワーグリッド株式会社
13 リコー電子デバイス株式会社	40 長野県工業技術総合センター
14 リンテック株式会社	41 東京エレクトロンデバイス株式会社
15 夏目光学 株式会社	42 東京大学 工学系研究科
16 株式会社 図研	43 東京大学協創プラットフォーム開発株式会社
17 株式会社AOKI	44 東芝インフラシステムズ株式会社
18 株式会社SUSUBOX	45 東芝テック株式会社
19 株式会社アド・ソアー	46 東芝デバイス&ストレージ株式会社
20 株式会社エイチアイ	47 東芝デベロップメントエンジニアリング株式会社
21 株式会社ジェイエスピー	48 東電設計株式会社
22 株式会社チップワンストップ	49 日昭無線株式会社
23 株式会社ネクスティ エレクトロニクス	50 日本ガイシ株式会社
24 株式会社リサシステム	51 日本航空電子工業株式会社
25 株式会社創成電子	52 富士通クライアントコンピューティング株式会社
26 株式会社東和テック	53 明光電子株式会社
27 金沢大学振動発電開発グループ	54 有限会社ケイ・ピー・ディ

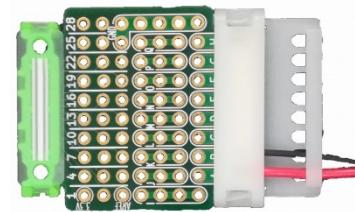
トリリオンノード研究会はLeafonyの普及活動もしています。 (エクセル降べき並び替え順)



アウトライン

● 背景

ハーネスリーフ



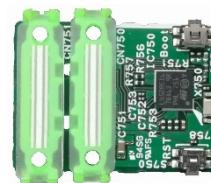
● Leafonyとは

モーターリーフ



● 頒布リーフ群

STM32リーフ



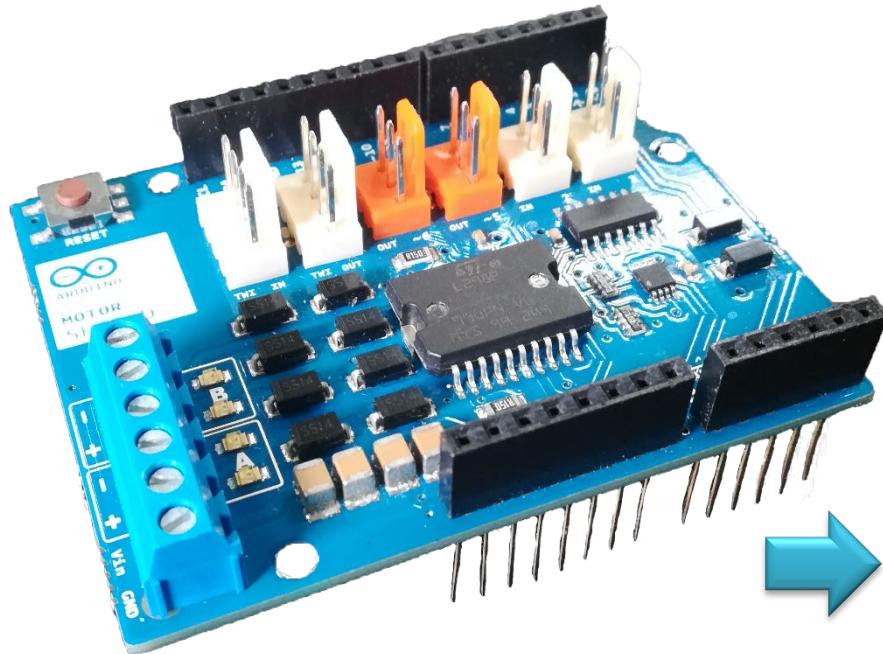
● Leafonyの進展



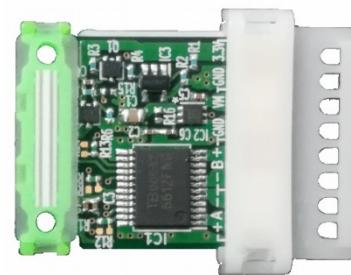
Leafony

モーターリーフ 説明

- トリリオンノード・エンジン初のアクチュエータ系リーフ
- Arduinoのモーターシールドとソフトウェア・コンパチブル
- 新研究開発のハーネスコネクタにより、ハーネス接続をスリム化



オフィス観葉植物の
水やりシステム



モータリーフ デモ



モータリーフ デモ



ハイライト: STM32リーフ(Basic Kit 2配布)

- ARM系の32bitマイコン: STマイクロ、STM32L452RE
(80MHz、512kB flash、160kB SRAM)、Arduinoで開発可能
- 低消費電力(チップとして)活性時: 36 μ A/MHz , st'by:<0.5 μ A
Ex. AVRマイコン 活性時: 5.2mA@8MHz, st'by: 4.7 μ A



STM32 MCUリーフ(32bit)
高性能、Arduinoでの開発可



AVR MCUリーフ(8bit)
簡便、Arduino互換性最大

Leafony Basic Kit 2 頒布開始

- 現在のBasic Kit + STM32リーフ、ボックスupgrade
- AVRマイコンでも、STM32でもArduino環境で設計可能



現在のBasic Kit



Basic Kit 2

ボックスを使い続けることを想定

透明で中が見える

シールを張り付けて積んでおいてもすぐにわかる

つるしておける

STM32リーフ 頒布開始

- Basic Kit 2として、2021年9月、頒布開始
- Webのクイックスタートで簡単スタート(ビデオあり)
- 超低電力センサデータロガーのソフトウェアをプリインストール
Beaconモード導入でCR2032コイン電池でも数か月
- エッジAIもカバー(CubeIDE環境)



Basic Kit 2 Quick-Start



USBリーフを外すのはより低電力化のため

© 2021 Trillion-Node Engine Project

エッジAIの例：STM32リーフで顔検知

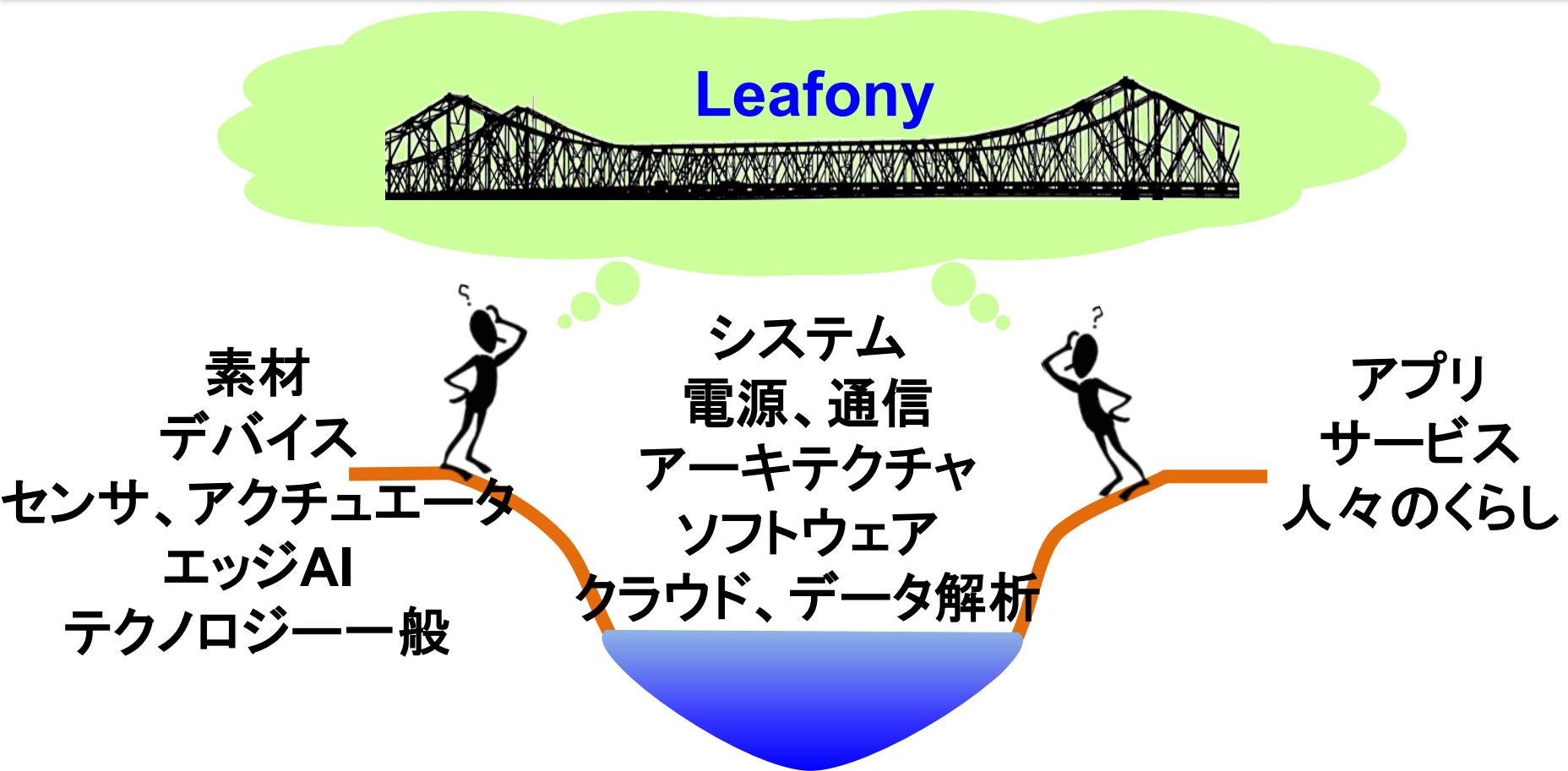


IoTアプリ開拓に向けたシステム開発の課題

- 構造物、工場、スマートシティ用途などシステムは千差万別。
最初は数が少ないかもしれない→開発効率の大幅アップ
- 電源線がなく、小型、軽量が新しいアプリを開拓
H/W、S/W含めシステム開発が難しい→小型・低電力 Leafony
- バリューチェーンが確立されていない→アプリと技術をつなぐ仕組み
トリリオンノード研究会



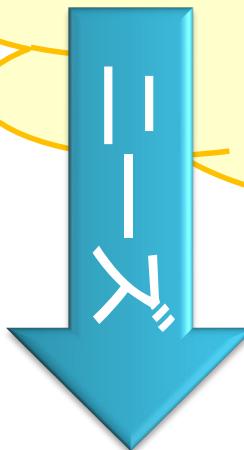
技術とアプリ・サービスをつなぐ橋:Leafony



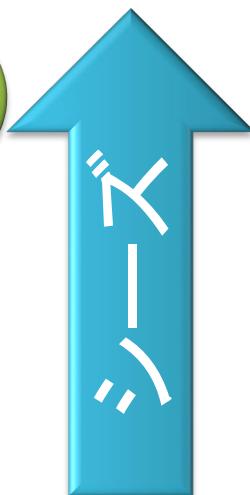
- 技術とアプリ・サービスの間には谷間がある
- Leafonyは双方をつなぐ橋
- みんなで創るIoT/CPSで社会課題を解決

技術をサービスまでつなぐ プラットフォーム

アプリ／サービス SDGs Society5.0
(社会課題を解く、産業を育てる)
課題先進国日本



Leafony プラットフォーム
バリューチェーン確立の一助



優れたIoT/CPS向けテクノロジー

IoTデモ Leafony→BLE→PC→クラウド→PC

The image shows two side-by-side browser windows. Both windows have the URL tk2-258-38976.vs.sakura.ne.jp/notification in the address bar.

Left Window (4-Sensors Edge):

- Buttons:** Disconnect (red), Sleep Mode (switch).
- Device Information:**
 - Device Name: Leaf_A_#05308
 - Unique Name: Leafony_AC02
 - 日時 (Date & Time): 2019/08/24 12:05:48
 - 温度 [°C] (Temperature): 31.0
 - 湿度 [%RH] (Humidity): 124.3
 - 照度 [lux] (Illuminance): 69
 - 傾き [deg] (Tilt): 30
 - 電圧 [V] (Voltage): 2.66
 - サイクロの日 (Cycle Day): 1

Right Window (4-Sensors Client Chart):

- Buttons:** Connect (blue).
- Graph:** A line graph showing Temperature (度) over time. The temperature fluctuates between approximately 27°C and 33°C, with several sharp peaks reaching up to 32°C.
- Notification:** A pop-up message from Leafony stating: "気温が30度を超えました。体調に気をつけてください。" (The temperature has exceeded 30 degrees. Please take care of your health.)
- Device Information:**
 - Device Name: Leaf_A_#05308
 - Unique Name: Leafony_AC02

Demo