

もう始まっている、Node-REDの産業応用

2021/2/4 Node-RED User Group Japan

横井 一仁

自己紹介



横井 一仁(よこい かずひと)

- 所属: Node-RED User Group Japanの運営メンバー、
 Node-REDプロジェクトの開発メンバー、
 日立製作所 OSSソリューションセンタ
- 活動: セミナーやカンファレンスの運営と登壇、 Node-REDの開発
- 実績: Node-REDの貢献コード量で世界4位、 JavaScript分野の世界最大のカンファレンス Node+JS Interactive 2018登壇、 IAFフォーラム2019登壇、 Open Source Summit Japan 2020登壇 など







コンテンツ

- 1. Node-REDとは
- 2. 産業分野でのNode-RED活用事例
- 3. ベンダーニュートラルな普及活動
- 4. Node-RED開発コミュニティの取り組み
- 5. 最近のNode-RED関連の出来事
- 6. ユーザーグループの活動紹介

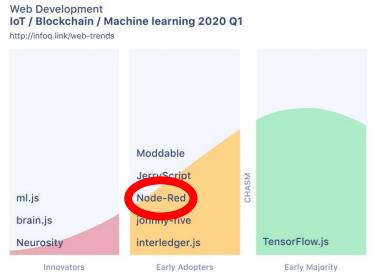


Node-REDとは

Node-REDとは



- OpenJS Foundation管理下のOSSのノンコーディング開発ツール
- InfoQの記事でも流行りつつあるOSSとして扱われている



InfoQのトレンドレポート



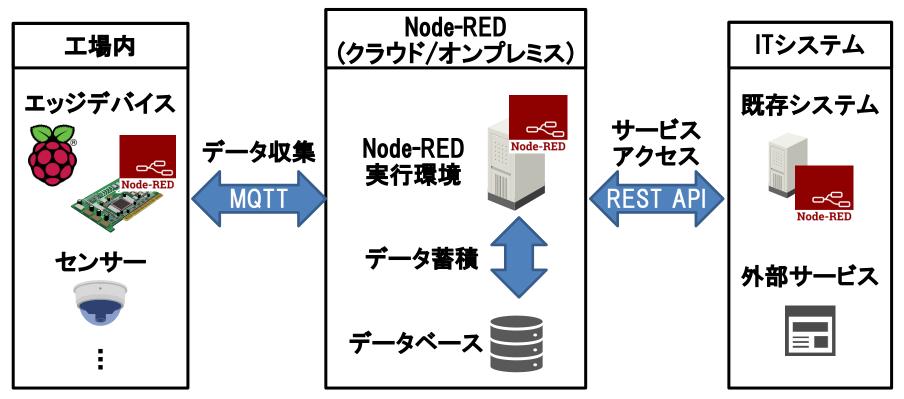
Node-REDのフロー開発画面

https://www.infoq.com/jp/articles/javascript-web-development-trends-2020/

Node-REDを用いて実現できること



Node-REDは、産業向けIoTを実現するために、必要な機能を備えている。



Node-REDのノード部品



以下を実現するノード部品が3000種類以上、提供されている。

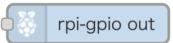
(1)機器データ収集

- camera p
- * modbus-read



(2)機器制御

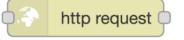
serial out



(3) 外部サーバ接続



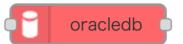




(4) データベース接続







(5) データ加工、分析



google-translate

(6) UI、データ可視化







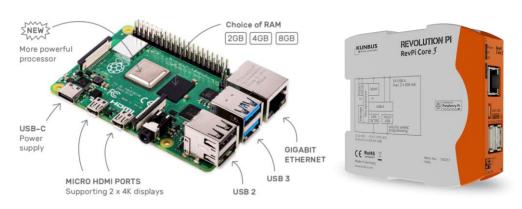
6

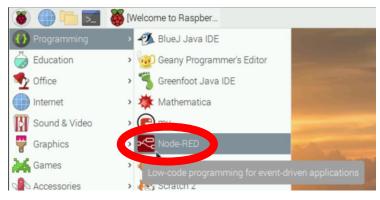
エッジデバイス上のNode-RED環境



2019年末時点で3000万台出荷されたデバイス、Raspberry PiのOSに標準搭載

- Raspberry Pi互換の産業向けデバイスでもすぐに利用可能
- 教育分野で活用されることで、 今後、Node-REDの知識を持つエンジニアが増加することが期待される。





Raspberry Pi

産業用Raspberry Pi

デスクトップ画面



産業分野でのNode-RED活用事例

Node-RED活用企業



- 企業ランキングFortune Global 500に掲載されている企業のうち、 36社がNode-RED活用例をインターネット上に公開
- ・ テクノロジー企業に絞ると、約50%の企業がNode-REDを活用

Volkswagen	Microsoft	日立	Unilever	Orange	東芝
Samsung	NTT	IBM	Caterpillar	Accenture	SAP
Daimler	Siemens	Alibaba	AB InBev	Oracle	Schneider Electric
AT&T	GE	Intel	LG	三菱重工	HPE
Google	Dell	Panasonic	Cisco	ABB	NEC
ホンダ	Bosch	Renault	KDDI	富士通	Nokia

-> 以降、赤の企業を中心に事例を紹介

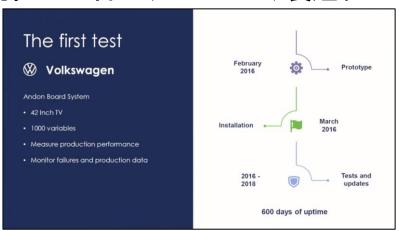
※業界色分け 茶:自動車、青:産業、緑:通信、赤:テクノロジー、紫:その他 ※各社の事例のURLは、参考サイトのスライドに記載

フォルクスワーゲン「生産状態報告システム」



フォルクスワーゲンの工場の製造ラインで、ブラジル企業ST-Oneが、 自社デバイスを用いて生産状態報告システムを構築

- 製造ラインから生じる1000種類のデータを収集し、42インチ大型ディスプレイに表示することで、生産パフォーマンスを可視化するベータプロジェクトを実施
- ・ 現在は45台のデバイスで、製造ラインに必要不可欠なシステムを運用中





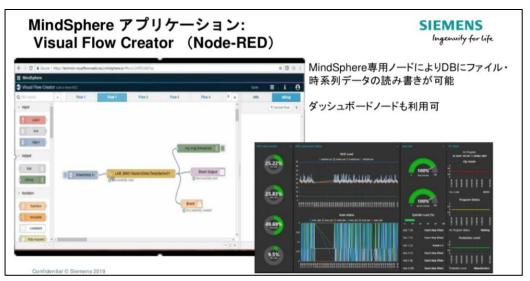
https://youtu.be/ubV4g-hts-o?t=14715

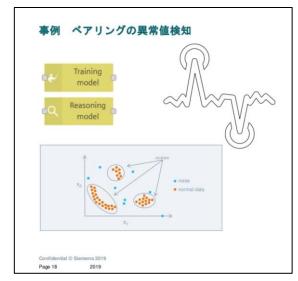
シーメンス「ベアリングの異常値検知」



ベアリングの温度や振動のデータの異常値を検知するシステム

- MindSphereでは独自のNode-RED環境であるVisual Flow Creatorを提供
- ダッシュボードによるデータ可視化、統計ノードによる分析などを利用可能





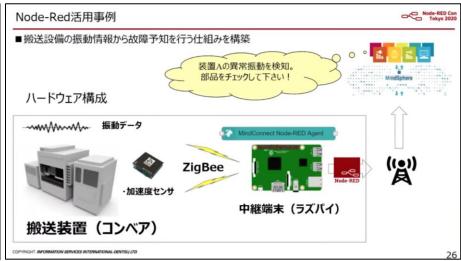
電通国際情報サービス「振動情報を用いた搬送設備の故障予知」



プラントエンジニアリング会社の搬送設備の故障予知の事例

- ・ 搬送装置に、感想加速度センサーを貼り付け、 Raspberry Pi上のNode-REDで振動情報を取得し、クラウド上へアップロード
- ・ クラウド上では振動情報から装置の異常振動を検知し、点検を促す





振動情報を取得する加速度センサー

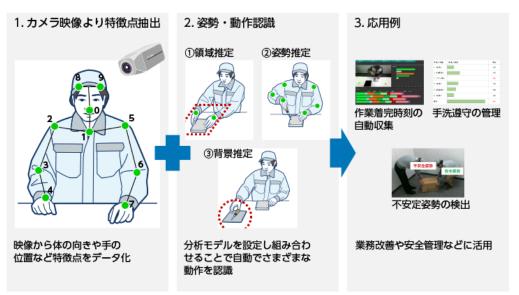
振動情報から故障予知を行う仕組み

https://youtu.be/ubV4g-hts-o?t=4497

日立産業制御ソリューションズ「人物姿勢・動作認識ソリューション」



- カメラ画像から人物の姿勢や動作を認識する技術を用いたソリューション
- ・ お客さまが自身で開発できるよう、Node-REDとNode-REDダッシュボードを活用





画像認識技術を用いたソリューション開発

作業手順の間違いを可視化

https://info.hitachi-ics.co.jp/product/activity_evaluation/

https://www.youtube.com/watch?v=U2nDEUIKzbQ

マスワークス社と日立の協業「工場内自律走行車の管制制御」



マスワークス社の画像認識技術を活用し、工場内を自律走行する搬送車の管制制御を実現するサンプルアプリ



マスワークス社と日立の協業「工場内自律走行車の管制制御」



搬送の状況をダッシュボードの画面から可視化

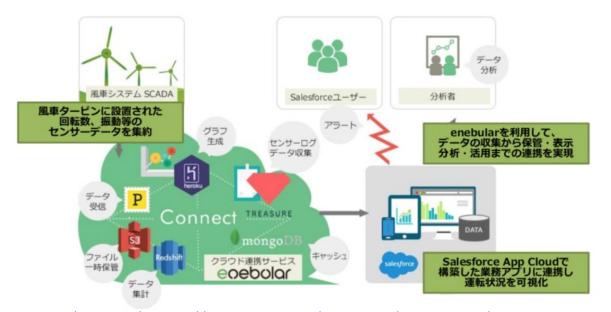


三菱重工「陸上風車のリモートメンテナンス」



2015年からNode-REDの商用サービスenebularを提供しているUhuru社が、 三菱重工と協業し、風車のメンテナンスシステムを開発

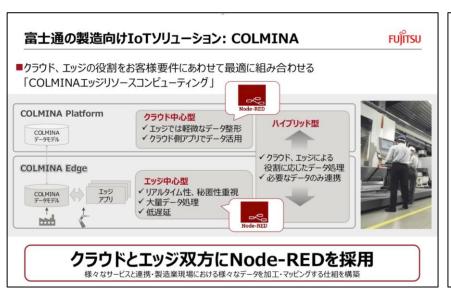
1000台の風車から上がってくるデータを、Node-REDで収集、状態を通知

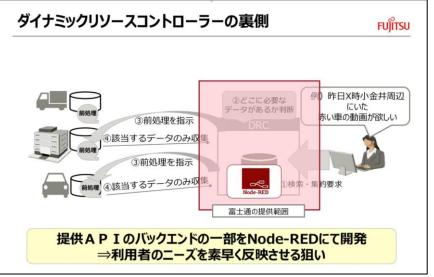


富士通「COLMINA/COLMINAエッジ」



- 2017年頃から富士通内でNode-RED活用が始まり、現場システムやPoCで利用
- ・ 製造業向けPlatform「COLMINA/COLMINAエッジ」で産業用ロボットなどと接続
- 大規模loTデータ活用基盤「ダイナミックリソースコントローラー」のテストベッドにて、ユーザーニーズを素早く反映するためにNode-REDを活用





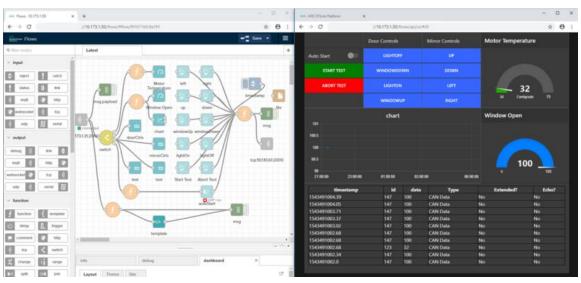
ヒューレットパッカードエンタープライズ「自動車の情報取得、制御」



自動車の情報取得やデータ可視化のため、車載デバイスでNode-REDを活用

- ・ モーターの温度、窓の状態をNode-REDダッシュボードに表示
- ・ 窓の上下、ライトの点灯消灯、ミラーの操作をNode-REDダッシュボードから指示





車の窓の上下を制御

HPE Edgeline OT Linkソフトウェア

https://youtu.be/Sv6vhBh1eSQ

https://www.hpe.com/jp/ja/product-catalog/detail/pip.hpe-edgeline-ot-link-software.1011573418.html



ベンダーニュートラルな普及活動

ベンダーニュートラルな普及活動



標準化や技術の普及、人材育成などの目的で中立的な組織がNode-REDを活用

- ・ 産業オートメーションフォーラム ia-cloud
- ・ 一般社団法人 首都圏産業活性化協会 ワークショップ神奈川セミナー
- ・ 福井県商工会議所 手を動かして学ぶloT教室
- Edgecross ダッシュホードサンプル for Edgecross
- NEDO フィジカル空間デジタルデータ処理基盤
- W3C Web of Things
- 厚生労働省 製造業ITマイスター指導者育成プログラム
- 総務省 基礎から学ぶ「loT体験セミナー」
- 公益財団法人 新産業創造研究機構
 - 製造現場のためのloT導入実践塾
- ・ 地方独立行政法人 青森県産業技術センター
 - Al loT 研修会
- ・ 公益財団法人 いわて産業振興センター
 - loTキット活用勉強会
- ・ 山梨県産業技術センター 情報技術講習会
- 石川県産業創出支援機構
 - 石川県次世代産業育成講座・新技術セミナー

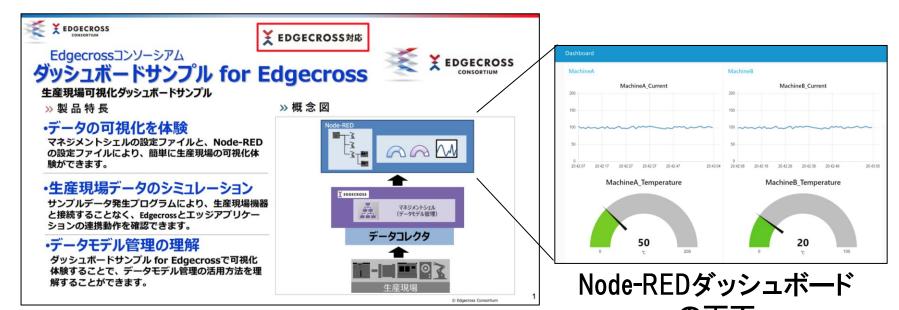
- ・ 広島県 社内IoTエキスパート育成講座
- ポリテクセンター広島
 - センサを活用したloTアプリケーション開発技術
- 一般財団法人塩尻市振興公社
 - Raspberry PiによるIoT入門講座
- ・ 長野県工業技術総合センター
 - 生産現場IoT技術研究会 実習セミナー
- 公益財団法人ソフトピアジャパン loT・IT研修
- 九州経済産業局 スマートファクトリーワークショップ
- 公益財団法人九州先端科学技術研究所
 - 初心者が始めるIoTとNode-Red
- 福岡県工業技術センター loT 関連技術実習セミナー
- 長崎県工業技術センター -自動制御技術研究会 loT分科会
- 日立地区産業支援センター
 - 中小企業 loT システム構築ツール勉強会
- 奈良県産業振興総合センター 「ならAlラボ」オープンデイ

Edgecross「生産現場可視化ダッシュボード」



EdgecrossのマーケットプレイスにNode-REDを用いたサンプルが存在

node-red-contrib-opcuaノードを使い、Edgecrossの基本ソフトウェアにアクセスし、取得したデータをNode-REDダッシュボードに表示するフロー



https://www.edgecross.org/ja/data-download/pdf/Partner_products_22.pdf

W3C 「Web of Things」



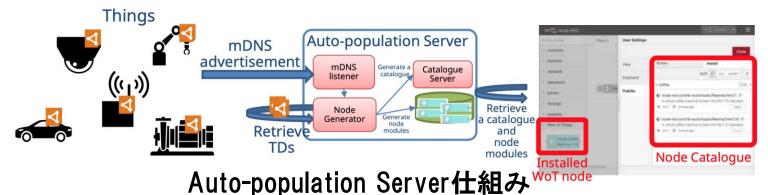
- デバイスとの相互接続を行うための 仕様の一実装として、Node-REDと Node generatorが使われている。
- ・ 周辺デバイスを認識し、Node-REDの ノードを自動生成する仕組みも検討中

W3C° _{即日発表}

IoT相互運用のためのソリューション - W3C Web of Things (WoT)

Web技術が、プラットフォーム、デバイスおよびクラウドサービスの相互連携を可能とし、Internet of Thingsの真の実力を引き出す

W3Cのニュースリリース(2020/4)



https://www.w3.org/2020/04/pressrelease-wot-rec.html.ia https://www.w3.org/2020/10/TPAC/web of things applications and use cases.html



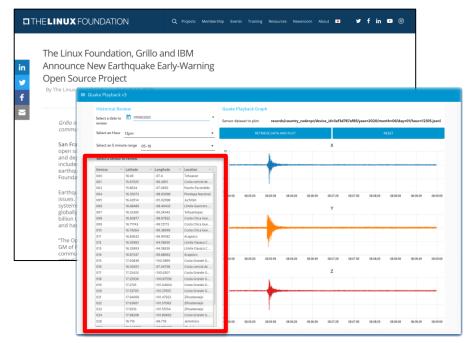
Node-RED開発コミュニティの取り組み

Node-REDダッシュボード向けUI部品



さまざまなデータを 可視化するためのUIノード

- · テーブルUI表示ノード
- リストUI表示ノード
- Vega UI表示ノード
- 3D UI表示ノード (開発中)



テーブルUI表示ノードの利用例

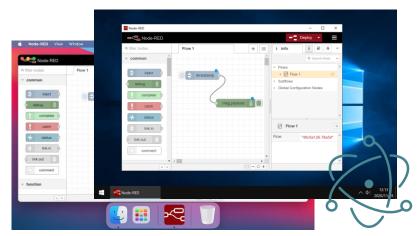
https://www.linuxfoundation.org/press-release/2020/08/the-linux-foundation-grillo-and-ibm-announce-new-earthquake-early-warning-open-source-project/ https://github.com/openeew/openeew-nodered

スタンドアロンNode-RED



Node.js、ブラウザエンジンなど一式が入ったデスクトップアプリ版のNode-RED

- Windows、macOS、Linux環境向けのインストーラを提供
- オフライン環境におけるアップグレードの容易化





エッジ環境 Node-RED

オフラインでの利用例

https://github.com/node-red/node-red-desktop

フロー開発ガイド、ダッシュボードユーザーガイド



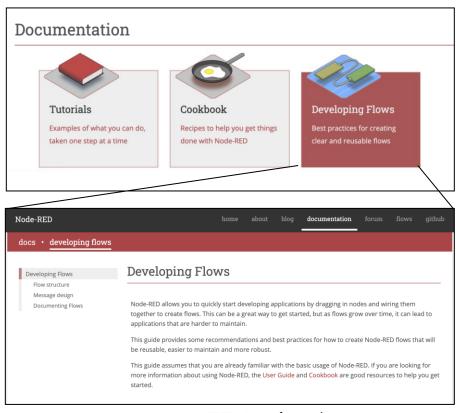
日立の開発ノウハウを基にした Node-REDのフロー開発に関する ドキュメントを公式サイトに追加

[コンテンツ]

- フロー構造
- メッセージの設計
- フロー開発

ダッシュボードユーザー ガイドも執筆中

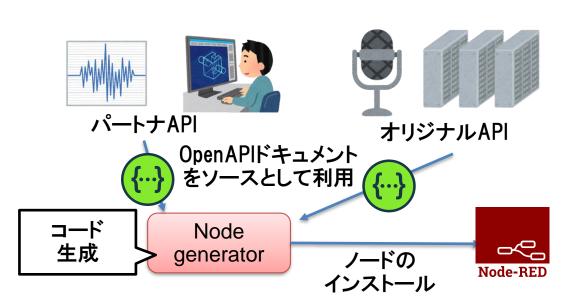
https://nodered.jp/docs/developing-flows/

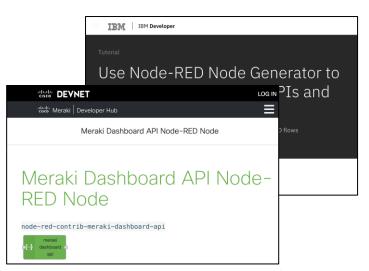


フロー開発ガイド



OpenAPIドキュメントなどから自動的にカスタムノードを 生成するコマンドラインツール





Node generatorの利用例

https://github.com/node-red/node-red-nodegen https://developer.cisco.com/meraki/meraki-dashboard-api-node-red-node/https://developer.ibm.com/tutorials/use-node-red-node-generator-to-create-new-nodes-from-apis-and-services/



最近のNode-RED関連の出来事

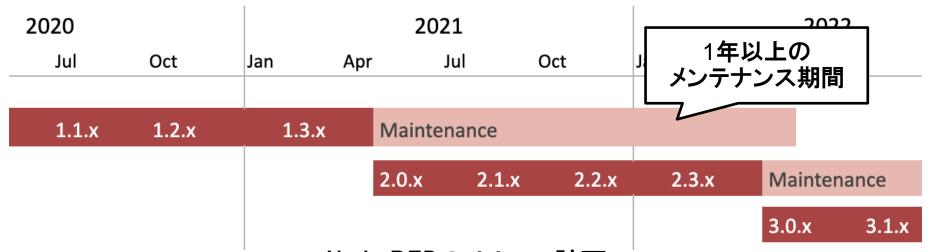
リリース計画のアナウンス

https://nodered.org/blog/2020/07/01/release-plans



v1.0以降のリリース計画がアナウンスされた。

- 1年以上同じメジャーバージョンを使用可能
- リリース計画は頻繁なアップデートが難しい、工場設備内などの オフライン環境向け利用で必要とされていたアナウンス

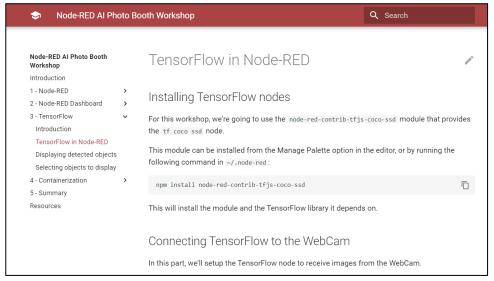


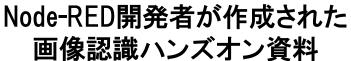
Node-REDのリリース計画

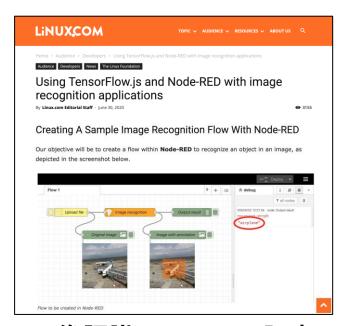
TensorFlow.jsを用いた画像認識の流行



TensorFlowのJavaScript実装であるTensorFlow.jsが本格的に使われる様になってきたことで、Node-REDにおいても手軽に使える様になってきた。







画像認識についての記事

https://knolleary.net/node-red-workshop-photobooth https://knolleary.net/node-red-workshop-photobooth https://www.linux.com/news/using-tensorflow-js-and-node-red-with-image-recognition-applications/

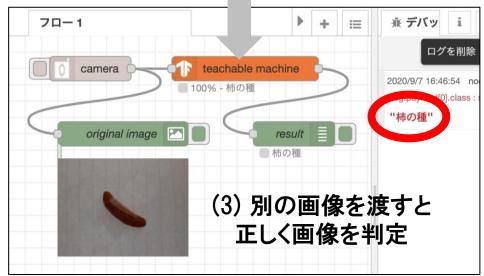
物体識別を行うカスタムモデルを利用する方法



ブラウザ上で動くTeachable Machineを用いて、手軽にカスタムモデルを作成

Node-REDにはカスタムモデルを利用できるTeachable Machineノードも存在するため、不良品分類などのモデルを作成し、仕分けロジックを記述可

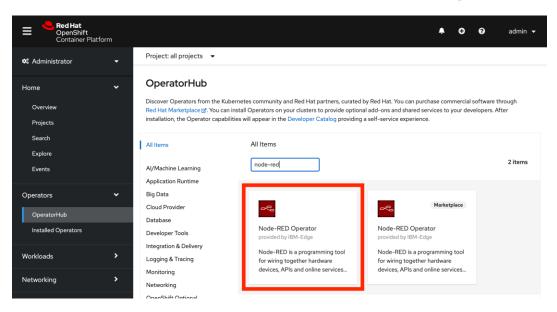




Red Hat OpenShiftでNode-REDオペレータを提供



- Red Hat OpenShiftウェブコンソールからマウス操作でNode-RED環境を構築可
- GitHubと連携してフローのバージョン管理を行うプロジェクト機能が標準で有効





ウェブコンソール上でNode-RED環境構築

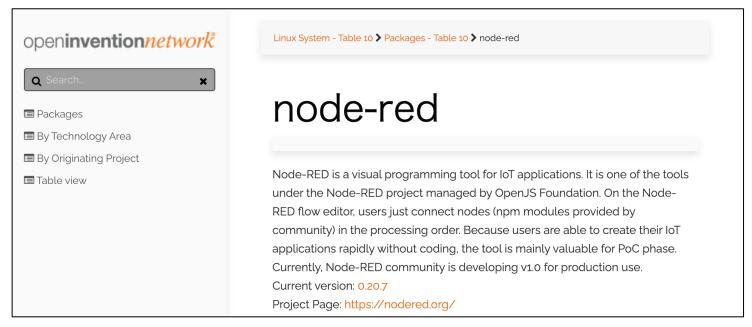
Node-RED環境構築手順の記事

https://giita.com/kazuhitoyokoi/items/268b70bdf87014bff914

Open Invention Network (OIN) がNode-REDを保護対象化



- ・ OINは、OSSに対する特許訴訟リスクを低減することを目的とするコミュニティ
- Node-REDが多くの企業で使われる様になったため、OINが保護対象に追加



Open Invention Networkのサイトに登録されたNode-REDの情報



ユーザーグループの活動紹介

GitHub上でのOSS貢献イベント、Hacktoberfest



毎年10月にオンラインで開催されるHacktoberfestにユーザーグループとして参加 Node-REDのノードの翻訳などを行うオンライン/オフラインイベントを開催



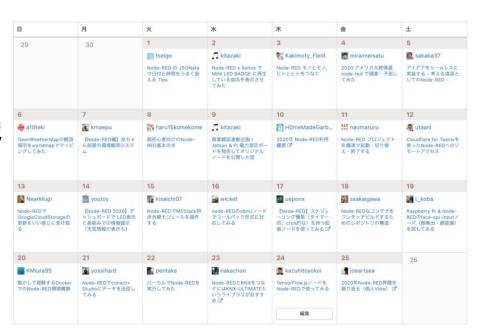


https://youtu.be/XAveiJReN7k

オンライン記事投稿



- Qiitaアドベントカレンダー
- Linux Foundationブログ
 - TensorFlow.jsを用いた画像認識
 - SendGridサービスを経由した メール送信方法
- Medium技術ブログ
 - Node generatorの使い方
 - Node-RED on OpenShift
 - 人物画像からの姿勢推定



Qiitaアドベントカレンダー

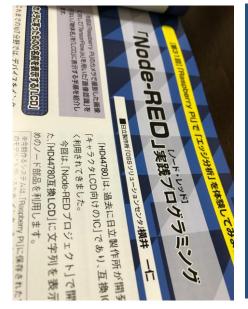
https://www.linux.com/news/using-tensorflow-js-and-node-red-with-image-recognition-applications/ https://www.linux.com/news/developing-an-email-alert-system-using-a-surveillance-camera-with-node-red-and-tensorflow-js/ https://qiita.com/advent-calendar/2020/node-red https://medium.com/@kazuhitoyokoi

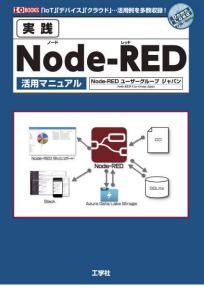
書籍出版

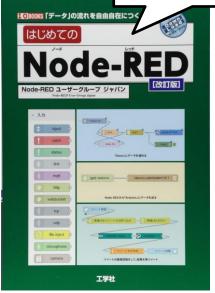


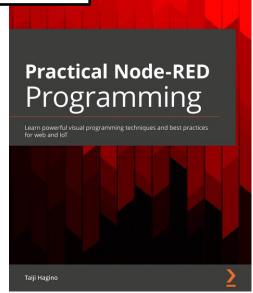
ユーザーグループのメンバで書籍出版を継続中

第3版を作成中









連載を継続中 の月刊I/O

2020年6月に 出版した事例本

入門書

2021年5月に出版 予定の洋書

グローバルカンファレンス Node-RED Con Tokyo 2019/2020



Node-REDの事例や技術を共有するカンファレンス

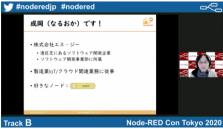
- ・ 2年連続で開催し、計560名以上が参加
- The Linux Foundation、英IBM、富士通、 パナソニック、NTTコミュニケーションズ、 シーメンス、日立などがこれまでに登壇
- ・ 2021年もオンラインで開催予定











https://youtu.be/ubV4g-hts-o?t=7495

https://youtu.be/ACx1qViN6-g?t=8972



まとめ

まとめ



- グローバル企業がNode-REDを産業向けで活用
- ベンダーニュートラルな組織による活動が、 さらにNode-REDの普及を促進
- Node-REDの開発でも産業分野で利用できる機能を開発中
- ユーザーグループの活動も活発
- -> ご興味がありましたら、 ユーザーグループが 開催している 勉強会にもご参加ください。

https://node-red.connpass.com





もう始まっている、Node-RED の産業応用

2021/2/4 Node-RED User Group Japan

横井 一仁

他社商品名、商標などの引用に関する表示



- Node-REDは、米国その他の諸国におけるOpenJS Foundation の登録商標です。
- Raspberry Pi is a trademark of the Raspberry Pi Foundation.
- MINDSPHERE is a trademark of Siemens Aktiengesellschaft.
- MathWorksは、The MathWorks, Inc.の登録商標です。
- enebularは、株式会社ウフルの登録商標です。
- COLMINAは、富士通株式会社の登録商標です。
- Edgelineは、Hewlett Packard Enterprise Development LPの登録商標です。
- Edgecrossは、一般社団法人Edgecrossコンソーシアムの登録商標です。
- Windowsは、Microsoft Corporationの登録商標です。
- macOSは、Apple Inc.の登録商標です。
- Linuxは、米国その他の諸国におけるLinus Torvalds氏の登録商標です。
- Red Hat and OpenShift are registered trademarks of Red Hat, Inc. in the United States and other countries.
- SendGridは、Twilio Inc.の登録商標です。
- ・ その他記載の会社名、製品名などは、それぞれの会社の商標もしくは登録商標です。



- Samsung Automation Studio
- https://sasm.developer.samsung.com/tutorials/article_2_1
- Getting started with AT&T Flow Designer on Bluemix
- https://cloud.ibm.com/docs/ATTFlow/index.html Low code programming with Node-RED comes to GCP
- https://cloud.google.com/blog/products/application-development/using-node-red-with-google-cloud
- 株式会社本田技術研究所 日本 IBM
- https://www.ibm.com/jp-ja/case-studies/t831081k84538k21
- Connecting Node-RED to Azure IoT Central
- https://azure.microsoft.com/en-us/blog/connecting-node-red-to-azure-iot-central/
- IoTシステムにおける Node-RED活用術 オフィスIoTシステムへの適用 -
- https://speakerdeck.com/ayoshino/node-red-for-iot CodeProject Intel® IoT Gateways with the GE PREDIX Developers Kit CodeProject
- https://www.codeproject.com/Articles/1212292/Intel-IoT-Gateways-with-the-GE-PREDIX-Developers-K
- Developer Day 2020 Register Now! Carbon Black Developer Network
- https://developer.carbonblack.com/2020/05/developer-day-2020-register-now/
- Bosch Rexroth IoT Gateway
- https://dc-ip.resource.bosch.com/media/ip/startpage 9/products 10/m tech2019/2019-10 bosch i4.0 solution-iot gateway-ciss.pdf
- Create a Node-RED starter application
- https://developer.lbm.com/components/node-red/tutorials/how-to-create-a-node-red-starter-application/ How to Deploy an IoT Platform with Node.js Alibaba Cloud Community
- https://www.alibabacloud.com/blog/how-to-deploy-an-iot-platform-with-node-js_595594
- Setting up an Intel® IoT Gateway using the Intel® IoT Developer Kit and Intel® IoT Gateway Software Suite
- https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/documentation/gateway-getting-started-software-suite/top/connecting-to-cloud/connecting-
- Node-REDを活用した社内向けIoTプロトタイピング基盤
- https://speakerdeck.com/utaani/node-redwohuo-yong-sitashe-nei-xiang-keiotpurototaipinguji-pan
- IOT IN THE LABORATORY
- https://elrig.org/downloads/ra16/Mark Auty.pdf
- User Guide | webOS Open Source Edition
- https://www.webosose.org/docs/tools/sdk/workflow-designer/workflow-designer-user-guide/
- Internet of Things with Node-RED
- https://developer.cisco.com/meraki/build/node-red-and-meraki-apis-demo SORACOMのGPSマルチユニットとNode-REDを組み合わせた子どもの見守リシステム
- https://speakerdeck.com/soracom/node-red-with-gps-multiunit-node-red-con-tokyo-2020
- Node-RED in SaaS mode: a new Live Objects option
- https://blog.liveobjects.orange-business.com/node-red-in-saas-mode-a-new-live-objects-option/
- Accenture「モノヅクリ」Engineers アクセンチュア・イノベーションセンター福島
- https://youtu.be/dToNaxCz98l?t=103 Installing Node-RED In An Always Free VM On Oracle Cloud
- https://blogs.oracle.com/developers/installing-node-red-in-an-always-free-ym-on-oracle-cloud
- District Heating Optimization
- https://sesam-world.com/pdf/sesam-138/06-ABB.pdf
- System Engineering Supporting Digital Co-creation https://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fsti/archives/vol54-
- エッジコンピューティングを実現する社会インフラ・産業分野向けloTゲートウェイ装置
- https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2017/04/72 04pdf/a09.pdf
- All about Node Red deployment in SAP Cloud Foundry
- https://blogs.sap.com/2020/09/29/all-about-node-red-deployment-in-sap-cloud-foundry/
- Node-Red a Digital enabler
- https://sesam-world.com/ pdf/sesam-138/03-Schneider-Electric.pdf OT Link Platform Flows

- https://techlibrary.hpe.com/docs/otlink-wo/OT%20Link%20Platform-Flows.html CONNEXIVE Platform
- https://www.nec.com/en/global/prod/connexive/ice/feature.html
- Nokia Innovation Platform
- https://platform.innovation.nokia.com/services.php?service id=5911efac48d5f4645c849b8c

- 一般社団法人 首都圏産業活性化協会 ワークショップ神奈川セミナー
 - https://www.tamaweb.or.jp/wp5/wp-content/uploads/2019/09/191004 IoT workshopsemina.pdf
- 福井県商工会議所 手を動かして学ぶloT教室
- http://www.fcci.or.jp/fsem/2020/iot handson.pdf Edgecross - ダッシュホードサンプル for Edgecross
- https://www.edgecross.org/ja/data-download/pdf/Partner products 22.pdf
- NEDO フィジカル空間デジタルデータ処理基盤
- https://www.nedo.go.ip/content/100899305.pdf
- 厚生労働省 製造業ITマイスター指導者育成プログラム
 - https://www.mhlw.go.ip/content/11800000/000701097.pdf
- 総務省 基礎から学ぶ「loT体験セミナー」
- https://www.soumu.go.jp/soutsu/tohoku/kohoshi/r011220iottaikensemina.html
 - 公益財団法人 新産業創造研究機構 製造現場のためのIoT導入実践塾
 - https://www.niro.or.jp/information/20201113/22753/
- 地方独立行政法人 青森県産業技術センター Al · IoT 研修会
 - https://www.aomori-itc.or.ip/docs/2020110900012/
 - 公益財団法人 いわて産業振興センター loTキット活用勉強会
 - http://www.ioho-iwate.or.ip/wp/assets/uploads/2020/12/loTkittochuukyuu.pdf
- 山梨県産業技術センター 情報技術講習会
 - https://www.pref.yamanashi.jp/yitc/documents/r2 johoseminar.pdf
- 石川県産業創出支援機構 石川県次世代産業育成講座・新技術セミナー
 - https://www.irii.go.jp/kenshu/pdf/1710216.pdf
- 広島県 社内IoTエキスパート育成講座
 - https://local-iot-lab.ipa.go.ip/article/hiroshima-pref-iot-1809210834.html
 - ポリテクセンター広島 センサを活用したloTアプリケーション開発技術
- https://www3.ieed.go.jp/hiroshima/poly/zaishoku/2020/A403-A51-A.html
- 一般財団法人塩尻市振興公社 Raspberry PiによるIoT入門講座
- http://sip.shioiiri.com/cms/wp-content/uploads/2020/07/20200901 RaspberryPiloT.pdf
- 長野県工業技術総合センター 生産現場IoT技術研究会 実習セミナー
 - https://smartiot-forum.jp/application/files/5915/4683/0052/jinzai5-3-2.pdf
- 公益財団法人ソフトピアジャパン IoT・IT研修
- http://training.softopia.or.jp/wp-content/uploads/2019/07/fc1ae42fe5c3013799622dfd39e2dafb.pdf
- 九州経済産業局 スマートファクトリーワークショップ
- https://www.kvushu.meti.go.ip/event/1912/191205 1 1.pdf
- 公益財団法人九州先端科学技術研究所 初心者が始めるIoTとNode-Red
 - https://www.fitco.jp/event/2018/node-red/
 - 福岡県工業技術センター IoT 関連技術実習セミナー
 - http://www.fitc.pref.fukuoka.jp/news/h31/r1_meri_loT_nodered.pdf
- 長崎県工業技術センター -自動制御技術研究会 IoT分科会
- https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2021/01/1610512658.pdf
- 日立地区産業支援センター 中小企業 loT システム構築ツール勉強会
 - http://hits.or.jp/topics/2021-1 node-red seminar.pdf
- 奈良県産業振興総合センター 「ならAIラボ」オープンディ
 - http://www.pref.nara.ip/secure/219493/191226AlLabOpenDay s.pdf