

# 音声対話型 AI 帳票を実現する現場作業支援ソリューションの提案

田淵 仁浩, 坂口 基彦, 服部 浩明, 奥村 明俊<sup>†1</sup>

**概要:** 本稿では, IoT/AI/クラウドなど ICT の進展が著しい社会でも, なお残る人手による作業の重要性を IoT 事例, 経済学, 社会政策の観点から指摘し, 作業品質・生産性を持続的に向上する音声対話型 AI 帳票の概念を提唱する. AI 帳票は, 従来の電子帳票では失われがちな紙帳票の“読み書きし易さ”や“作業引継ぎなど運用容易性”を音声対話(AI)で実現し, 生産性向上と作業実績収集(IoT 化)を両立する電子帳票である. この AI 帳票を製造/物流/建築/流通/サービスの現場で標準作業の訓練・実践・改善に活かせるように設計した現場作業支援ソリューション(SL)も提案する. 本 SL を, NEC グループの工場で約 1 年 10 か月間評価した結果, 作業員の訓練コストを 1/3 に削減, ハンズフリー作業で生産性約 20% 向上, 作業員のスキル改善サイクルを約 40 倍高速化する効果を実証した. 本 SL は, 音声認識技術に不特定話者の耐騒音音声認識技術を採用しているため, 通常騒音の現場から工場・コールセンターなど高騒音の現場まで幅広く活用できる.

**キーワード:** 人工知能, IoT, Industry4.0, 音声認識, O-Ring 理論, 認知科学, エスノグラフィ, 現場改善, トヨタ生産方式

## A proposal of a standard process improvement solution enabling artificial-intelligence powered, voice-activated electronic forms.

MASAHIRO TABUHI, MOTOHIKO SAKAGUCHI, HIROAKI HATTORI,  
AKITOSHI OKUMURA<sup>†1</sup>

**Abstract:** This paper proposes a standard process improvement solution enabling an artificial-intelligence powered, voice-activated electronic forms. This technology enables workers inexperienced in IT solutions to create artificial-intelligence powered, voice-activated electronic forms (AI-forms). After workers input operating instructions, type of recognition results, and conditions for execution to Excel® form, they upload the form to server and get the AI-form corresponding to the original form. Also, because our IT solution adopt noise cancelling voice recognition engine, workers can use AI-forms in noisy places including a factory, call-center, and construction field. This paper reports that we have evaluated our IT solution at a production line in NEC fukushima factory since October in 2015 and have accomplished productivity increasing 20%.

**Keywords:** Artificial intelligence, IoT, Industry 4.0, Voice recognition, O-Ring theory, Cognitive science, Ethnography, Toyota Production System.

### 1. はじめに

IoT(Internet Of Things)/人工知能(AI)/クラウドに代表される ICT(情報通信技術)が進展し, 製品やサービスが高度化した社会においても, 人手による作業(人作業)の品質・生産性向上は重要な課題である. 自動化が進んでも, なお人作業は残り, その重要性を増しているからである. 例えば, IoTを活用した Industry 4.0 で世界をリードする Siemens でも, 製造プロセスを制御する PLC (Programmable Logic Controller)の生産ラインの自動化率は 75%なので, 残り 25%が人作業である[1][2]. また, 経済学的にも, 人作業の品質・生産性の向上は重要である. ハーバード大学の経済学者 Michael Kremer が提唱した O-Ring 理論[3]によると, 組織や部品が完璧に近づくほど, その間をつなぐ人間の作業品質の僅かな差が, 計画/製品/サービスの品質を決定づけるからである. 理論の名称は, 1986 年スペースシャトル・チャレンジャー号の爆発原因が補助ロケットの安価なゴム製 O-Ring にあり, それが数十億ドル規模の事業の失敗と 7 人の宇宙飛行士の死を引き起こした大惨事の教訓に由来する. Kremer は, 仕事を n 種類のステップに分け, 各ステップの品質(=成功確率)の掛け算で生産関数を定義した. 例えば,

あるステップの成功確率が 50%ならば, 残りの全ステップが 100%でも, 仕事全体の品質は 50%以下になる. つまり, 計画/製品/サービスの成功には, 仕事をつなぐ一連のステップ(value chain)の全ての輪(部品や作業分担)が機能することの重要性を示している. 身近な例で言えば, レストランで仕入れから調理まで贅を尽くした完成度の高い料理を作っても, 給仕係がミスをすれば台無しだし, ネット通販の当日配送サービスも宅配サービスが機能しなければクレームに繋がる. 裏を返すと, value chain の 1 つの輪の作業品質・生産性の改善は, 他の輪の改善活動の価値を高めることを意味する. 前述の Siemens では PLC 製品を 99.99885%の品質で年間 1,200 万台生産している. このラインの人作業が 2 工程だけでも, 各工程は  $99.99943\% (= \sqrt[2]{0.9999885})$  以上の品質がないと製品品質を維持できない. Siemens は自動化だけでなく, 人作業の品質も極めて高い水準を達成しているわけである. また, MIT の経済学者 David Autor は 2016 年末の TED[4]で, O-Ring 理論と Never-Get-Enough 原理[5](人は常に現状以上の製品/サービスを求め続けるという経済原理)を引用して, 自動化が進んでも人作業が O-Ring の役割を果たし続けると述べている. さらに, 少子高齢化が進む日本では働き方改革実現会議において単位時間当り

<sup>†1</sup> (株)NEC ソリューションイノベーター  
NEC Solutions Innovator, Ltd.

の労働生産性向上を今後の重要課題に位置付けている[6].

このように、今後も人作業は社会的にも経済学的にも重要性を増すが、現場では紙帳票が重要な役割を果たしている。なお、本稿では現場を、標準作業が定義され、投入工数と成果品質が測定可能な製造/物流/建築/流通/サービスなど、単位時間当りの労働生産性[7][8][9]を測れる現場とする。作業時間や成果が個人の裁量に任されている知的生産性を測るべき現場は除外する。労働生産性の代表例である製造現場ではトヨタ生産方式[10][11][12][13]に代表される Industrial Engineering (IE)手法[14]で、作業手順書や工程分析記録票などの紙帳票を用いて、人作業の品質・生産性を持続的に向上している。誰でも同じ品質の成果を出せる作業手順であるべき標準作業を訓練・実践・改善し続けるには、紙の利便性と低い運用コストが好まれることを示している。エスノグラフィ観察による知見[15]によると、オフィスの定型業務でも、複数の情報システム間で必要な情報をつなぐ作業を担うために、“紙を介した運用”を採用する傾向がある。認知科学の観点では、人に作業を訓練し、理解させ、修正させるには、紙の読み書きし易さが電子デバイスより認知的に優れているとの報告もある[18][19][20].

各種現場で広く使われる紙帳票は、標準作業の訓練・実践・改善の各段階で利便性と運用コストの面で優れているが、標準作業の改善スピードの観点では課題が残る。紙のままでは作業実績の分析コストが掛かり過ぎるためである。一方、電子帳票[21][22][23][24]は、表計算ソフトで作成した帳票を直接取り込める編集容易性、スマートデバイスの画面上で帳票に入力できる直接操作性、帳票データの検索・分析の容易性に利点がある。しかし、電子帳票は、紙の読み書きし易さや紙の運用容易性までも失い、標準作業の訓練・実践・改善の各段階で作業効率を下げしてしまう。

そこで本稿では、紙帳票が持つ利便性を維持しながら、従来の電子帳票の問題点を解決する音声対話型 AI 帳票の概念を提唱し、本概念を実現する現場作業支援ソリューション(SL)を提案する。また、本 SL を NEC の製造現場で約 1 年 10 か月に渡って実証・評価した結果も報告する。

## 2. 関連研究・従来手法の問題点

人作業の品質・生産性の持続的向上を図る観点から、紙帳票と従来の電子帳票を分析し、標準作業の改善スピード向上に必要な ICT の要件を整理する。

### 2.1 人作業における紙帳票の利点と欠点

紙帳票は一般に読み書きし易い、作業引継ぎなど運用容易性が利点だが、標準作業の改善スピードには課題が残る。

#### 2.1.1 紙帳票の運用容易性

人作業で“紙を介した運用”が好まれる傾向を分析した文献 [15]を参考に、紙帳票が持つ運用容易性を可搬性、実在性、カスタマイズ容易性の三つに整理し、それぞれについて製造現場での運用例を述べる。

#### (1) 可搬性

紙の作業手順書(作業帳票)は、仕掛中の製品(仕掛品)を、作業員間で引き継ぐ際に、テープで仕掛品に添付して、作業員に引き渡せる可搬性が、現場の運用を容易にする。

#### (2) 実在性

紙の作業帳票は、作業の中断・再開にも役立つ。作業帳票を机やトレイに置いておけば、中断中の作業を実在化できる。中断中の作業は、作業帳票の有無で一目瞭然で、作業帳票を取り上げるだけで作業を再開できる。

#### (3) カスタマイズ容易性

紙の作業帳票は、可搬性と実在性を保ちつつ、運用上の利便性を高めるカスタマイズも容易である。例えば、作業順序を間違えないようにするには、ガイド付きの紙ホルダーを用いる。また、作業帳票では作業項目に注釈などで実施条件を付ければ、作業員が運用時に、要否を判断できる。

これら三つの性質を持つ紙帳票は、標準作業の訓練、実践、改善の各段階で、作業員が把握したい状態変化(仕掛中、中断・再開など)に低コストで追従できる。

#### 2.1.2 紙帳票の欠点

一方、人作業の品質・生産性向上の改善サイクルを回す観点からは、紙帳票には限界がある(図 1)。

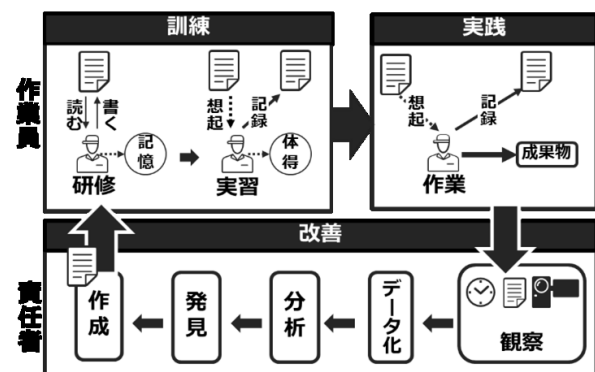


図 1: 人作業の品質・生産性向上の改善サイクル(紙)  
 Figure 1: Improvement cycle of quality and productivity on manual work using paper forms.

#### ● 訓練

作業責任者(以後、責任者)が作成した標準手順書(紙帳票アイコン)の作業指示を、作業員は研修を通じて読み書き・理解し、記憶する。責任者は、作業員の理解水準を、作業員に紙に書かせることで把握できる。作業手順の理解は、紙を読む方がディスプレイで読むよりも認知負荷は低く、また、作業手順の注意点や狙いを書くことも理解を定着させる効果があるので[17][18][19][20][20], 研修で紙帳票を使うことは理に適っている。しかし、実習では作業手順を想起するために目線の移動や意識の遷移(図中の点線)が起きるので標準作業の体得に時間がかかる傾向がある。

#### ● 実践

訓練を積んで作業を体得しても、作業中に紙帳票に記録

する動作は、両手と目線が作業対象から離れる動作遷移(人と記録間の**実線**)があるため非効率である。また、作業手順が多い、あるいは似た作業指示がある場合は、熟練者でも記憶を辿る**想起**で逡巡し、効率を落とすことがある。

#### ● 改善

標準作業の改善を目的とした作業時間分析では、ビデオ撮影とストップウォッチ計測による**観察**によって紙帳票に**記録**し、デジタルデータ化してから、作業項目ごとの標準作業時間とのバラツキを**分析**する。分析結果から、作業内容の修正点を**発見**し、標準作業手順を再度**作成(修正)**する。一連の作業は、間接作業コスト(人件費)が余計にかかるため、月に1回程度が限界で改善スピードに課題が残る。

## 2.2 電子帳票の利点と欠点

電子帳票は帳票管理の効率化に有効な反面、紙帳票の読み書きし易さや運用容易性を失う。また、標準作業の訓練・実践・改善のサイクルにおいては効率低下の欠点を抱える。

### 2.2.1 紙に対する利点と欠点

電子帳票[21][22][23][24]の利点は、Excel®など表計算ソフトで作成した帳票をそのまま取り込める編集容易性、帳票を表示したスマートデバイスの画面上で直接入力できる直接操作性、帳票データの検索・分析の容易性にある。紙への印刷が不要なので紙量も減り、紙帳票からの転記コストも不要、デジタル化済みの帳票データを低コストで検索・分析可能と、帳票データ管理の効率化に貢献している。

しかし、電子帳票は紙をなくすことが主眼にあるので、紙帳票の可搬性、実在性、カスタマイズ容易性を持たない。

#### (1) 可搬性

スマートデバイス自体を仕掛品に添付するのは紙に比べて単価が高過ぎる。紙に印刷しないならば、電子帳票と仕掛品と手渡す人・工程とを紐付ける機能を、現場の運用ニーズに合わせて作り込む必要がある。

#### (2) 実在性

紙に印刷せずに中断作業を把握し、再開する場合にも、高価なスマートデバイス自体を置いておくわけにいかない。そのため、紙の実在性に相当する帳票管理機能を現場の運用ニーズに合わせて作り込む必要がある。

#### (3) カスタマイズ容易性

作業順序を制御したり、注釈つけたりする作業支援機能は、現場の運用ニーズに合わせて作り込む必要がある。

### 2.2.2 標準作業の訓練・実践・改善における欠点

また、人作業の訓練・実践・改善のサイクルを回す観点でも、電子帳票や電子帳票に音声入力を備えたシステム[22][25][26]には以下のような欠点がある。

#### ● 訓練

スマートデバイスの画面を見ながらする訓練では、習熟期間の短縮は期待できない。紙を見ながらの訓練に比べて、理解も校正作業も認知的に作業効率が低下するからである[18][19][20]。

#### ● 実践

紙帳票を、電子帳票アプリを入れたスマートデバイスに置換えるだけでは作業効率は低下する。音声入力ができる場合でも、入力項目の選択にタッチ操作・スクロール操作や目線の移動が必要だと、作業効率は下がる。

#### ● 改善

作業効率の低下を許容して、電子帳票に作業結果を入力すればデジタルデータ化はできる。しかし、品質データや作業結果だけを分析しても、標準作業手順に潜在する作業時間のバラツキまでは可視化できない。仮に、電子帳票に結果が入力されるまでの時間を計測する機能を入れても、操作性に起因する作業効率の低下も計測時間に含む。そのため、標準作業手順に起因する作業効率低下の直接原因を発見する目的には向かない。

## 2.3 人作業の品質・生産性向上に必要な ICT 化の要件

人作業の品質・生産性を持続的に向上するには、紙帳票の利便性を失わず、標準作業の訓練・実践・改善の各段階で発生する運用コストの抑制が ICT 化の要件になる。

### (1) 紙の利便性の実現要件

- **可搬性:** 責任者と作業員間、作業員とモノ・コト間で発生する作業の移行に伴い、帳票に記載すべき情報を受け渡せること。
- **実在性:** 帳票と作業の状態を関連づけて管理できること。また、作業の状態を可視化できること。
- **カスタマイズ容易性:** 作業手順の順序や条件・注意事項を責任者・作業員が作成・修正できること。

### (2) 標準作業の訓練・実践・改善を支援する機能要件

- **訓練:** 認知的な負荷を下げ、不慣れな作業員でも標準作業の習得時間(コスト)を短縮できること。
- **実践:** 紙の利便性(可搬性、実在性、カスタマイズ容易性)を保ちつつ、紙の読み書きと同等かそれ以下の動作数(コスト)で作業をサポートする機能を持つこと。
- **改善:** 標準作業に潜在的に内包する作業時間のバラツキを可視化するコストを極小化し、現場の責任者が自ら改善できるような操作性を備えること。

## 3. 音声対話型 AI 帳票の概念

2.3 の要件を満たし、標準作業の訓練・実践・改善を効率よく実現する音声対話型 AI 帳票の概念を提唱する。

### 3.1 基本概念

製造現場の例として、日本能率協会の 2016 年度 Good Factory 賞[28]を受賞した NEC プラットフォームズ(旧ネットワークプロダクツ)福島事業所をエスノグラフィ観察[29]してみると、紙帳票は責任者と作業員、作業員間で情報を共有・伝達するメッセージの媒体として使われている。例えば、責任者が作成した標準作業手順は作業者に徹底させたい作業指示メッセージの集まりで、訓練中に作業員が紙帳票を参照するのは、指示されたメッセージを理解し記

憶するためである。作業結果をチェックシートに記録するのは、標準作業手順を正しく実施した確証をメッセージとして責任者に返すためである。これらのメッセージを、作業員が紙帳票への読み書きや紙帳票の受渡しを通じて伝達する代わりに、帳票との音声対話で置換えたのが音声対話型 AI 帳票である。AI 帳票は表 1 のように従来の電子帳票では失われがちな紙の基本機能、2.3 の利便性や運用容易性に関する要件を音声対話で実現し、認知的負荷を下げつつ作業効率も向上する電子帳票である。AI 帳票を用いることで、図 2 のように、人作業の品質・生産性向上の訓練・実践・改善サイクルを高速に回せるようになる。

表 1: 紙帳票, 電子帳票, AI 帳票の比較

Table 1: Comparison of paper-, electronic-, and AI-forms

機能	評価項目	紙帳票	電子帳票	AI帳票
基本	読み書きし易さ	○	×	○
	可搬性	○	×	○
運用	実在性	○	×	○
	カスタマイズ容易性	○	×	○
	訓練・実践・改善効率	△	×	○
データ管理	編集容易性	×	○	○
	直接操作性	×	○	○
	検索・分析容易性	×	○	○

○: 効率良い △: 一部非効率 ×: 非効率

### (1) 訓練

研修で紙帳票の作業指示の読み書きを通じて記憶に定着させた後、実習では作業員は AI 帳票(図 2 のスマートデバイスアイコン)の作業指示を合成音声で聞きながら、作業を体得できるので、図 1 の意識の遷移は起きない。認知科学の知見[27]では、機器操作のように対象物を見ている間に操作手順を音声でガイドすると操作時間を短くする効果があるので、訓練期間の短縮も期待できる。

### (2) 実践

作業中も作業指示を AI 帳票の合成音声で聞きながら作業するので、図 1 の記憶を想起するケースはない。また、AI 帳票が作業員の音声発話を認識して作業結果(データ)を自動で記録するので、記録のための動作遷移もない。作業対象から両手と目線を離さず、次の作業に着手できるので動作にムダがなくなり、作業効率向上を期待できる。

### (3) 改善

作業中に AI 帳票が作業員の発話を認識して自動記録する際に、作業指示の終了時刻と作業員の発話時刻も記録するので、全作業手順の作業時間を計測できる。その結果、標準作業の改善を目的とした作業時間分析に必要なビデオ撮影やストップウォッチ計測による観察とデジタルデータ化は不要になる。AI 帳票を使う全作業員の全作業手順の作業時間を作業実績としてリアルタイムに記録するので、即座に標準作業時間とのバラツキを分析できる。分析結果から作業手順の修正点を発見し、標準作業手順を修正する。このように、観察コストとデータ化コストなく全作業実績

を分析できるので、標準作業の改善頻度も上げられる。

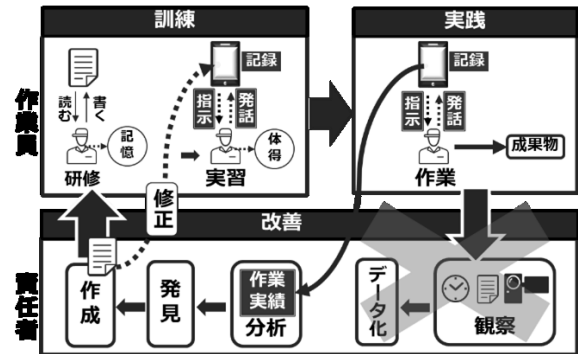


図 2: 人作業の品質・生産性向上の改善サイクル(AI 帳票)

Figure 2: Improvement cycle of quality and productivity on manual work using AI-forms

## 3.2 AI 帳票のデータ管理モデル

紙が持つ可搬性、実在性を音声対話で実現する AI 帳票のデータ管理モデルとして、帳票のオブジェクトモデルと仮想トレイについて説明する。

### (1) 可搬性を実現するオブジェクトモデル

AI 帳票は、可搬性を帳票クラスと帳票インスタンスからなるオブジェクトモデルで実現する。帳票クラスは標準作業定義に対応し、帳票インスタンスは標準作業の実行状態、すなわち紙帳票 1 枚に相当する。帳票インスタンスと人やモノとの対応関係を各識別データ間の関係として管理することで、人への受け渡しやモノへの添付を実現する。

### (2) 実在性を実現する仮想トレイ

AI 帳票は、帳票クラス、未完了の帳票インスタンス、完了した帳票インスタンスを管理する仮想トレイを導入する。AI 帳票では紙帳票 1 枚に相当する帳票インスタンスを音声発話で仮想トレイに入れたり出したりできる。例えば、画面に表示された作業帳票リストの帳票(クラス)名を音声で呼び出せば、作業を開始できる。作業を中断する場合にも、AI 帳票は作業員の音声発話で中断すると同時に、帳票インスタンスを未完了作業トレイに入れる。作業再開する場合には、未完了作業トレイから帳票インスタンスの音声発話で再開できる。

## 3.3 カスタマイズ容易性を実現する音声対話制御モデル

紙のカスタマイズ容易性を実現するため、AI 帳票では、現場の知恵を集めた標準作業手順を対話シナリオとして定義できる。対話シナリオの制御モデルには、シーケンシャル制御、条件付き制御、ランダム制御の三つがある。

### (1) シーケンシャル制御

AI 帳票の基本的な制御モデルで、作業手順を順序も含めて間違いなく実施させるための制御モデルである。帳票に記述された項目を逐次、音声でガイダンスし、作業員の声だし確認を音声認識して作業実績を収集する。

必要な時に必要な情報(音声ガイダンス)を提示する考え方[10]に基づき、作業結果を発話しない限り、次の作業指示

をガイダンスしない。そのため、数多くの作業手順があっても、作業手順を飛ばすことはない。紙帳票や電子帳票のように、次の作業手順を目視確認する場合には、作業飛ばしが発生するリスクが残る。

## (2) 条件付き制御

AI 帳票では指定した作業手順については、あらかじめ定義した条件が成立したときにのみ実施するように制御できる。例えば、設備点検では温度が一定値以上だった場合に、追加で確認すべき点検手順の音声ガイダンスを流し、作業員に確認結果を入力するように指示できる。

## (3) ランダム制御

帳票の全ての作業手順について、任意の順序で入力する帳票を定義できる。作業員が全ての作業手順と入力すべきデータを記憶しており、かつ、入力順序を状況に応じて変えたい場合に使える。例えば、設備の停止後点検では、空冷ファンが止まるまで、安全に点検できる部位から点検・確認する。そのような場合には、点検項目名と結果を合わせて発話すると、順不同で点検結果を記録できる。全ての点検手順を実施すると、AI 帳票は作業完了状態に移行する。

## 4. AI 帳票を実現する現場作業支援 SL

紙帳票の読み書きだけでなく、紙帳票を使った運用管理までも音声対話で制御する AI 帳票を実現する現場作業支援 SL を提案する。

### 4.1 基本アーキテクチャ

3 で提唱した音声対話型 AI 帳票を実現する現場作業支援 SL を、図 3 のようなアーキテクチャで設計した。基本アーキテクチャは AI 帳票管理サーバ(以後、管理サーバ)と AI 帳票用携帯端末(以後、AI 帳票端末)からなるクライアント・サーバ構成である。管理サーバは、Excel®で記述した標準作業手順(以後、対話シナリオ)から、3.2(1)の帳票クラスを自動生成する。具体的には、ユーザ(例えば、責任者)が対話シナリオを表形式で作成したファイルを管理サーバにアップロードすると、管理サーバは帳票クラスを自動生成する。生成された帳票クラスは作業員や責任者が AI 帳票端末でダウンロードすると AI 帳票端末の仮想トレイに格納される。仮想トレイの帳票(クラス)名の音声発話か画面タッチ操作で作業を開始し、帳票インスタンス(紙帳票 1 枚に相当)との音声対話で作業を実行できる。その作業実績は AI 帳票端末が記録するので、記録された作業実績を AI 携帯端末で管理サーバにアップロードすると、管理サーバは作業実績データベースに格納する。

基本アーキテクチャでは対話シナリオを記載した Excel®ファイルを手がかりに、作業実績データベースのデータ分析も Excel®で分析することを想定している。紙帳票を用いる現場の多くが、Excel®に慣れ親しんでいるので、AI 帳票を用いた運用を試行しやすいと考えたためである。AI 帳票による運用が定着したならば、対話シナリオに記載す

べき情報(例えば製造番号や製造条件)を図 3 の基幹系業務システム(ERP/MES など)から取り込み、半自動で帳票クラスを生成する連携システムの構築も可能である。また、長期運用で大量に溜まった作業実績をビッグデータ分析の専用システムで分析する連携システムの構築も可能である。

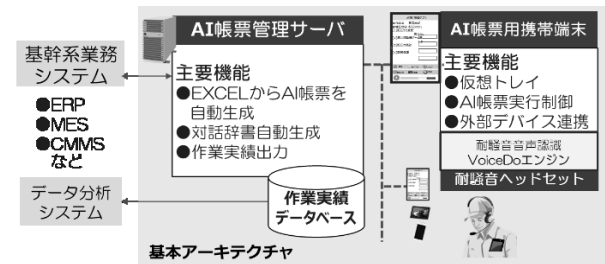


図 3: 現場作業支援 SL の基本アーキテクチャ

Figure 3: Primary architecture of a standard process improvement solution

### 4.2 現場での運用を支える AI 帳票実行制御機能

人作業の品質・生産性向上の改善サイクルを高速に回す AI 帳票の主な機能について述べる。図 3 の AI 帳票端末の AI 帳票実行制御にはパーソナルコーチ機能、作業リレー機能、作業実績リアルタイム収集機能がある。

#### (1) パーソナルコーチ機能

この機能は、標準作業の訓練・実践段階で責任者に代わり作業者を指導するパーソナルコーチの役割を果たす機能である。現場の知恵を反映した対話シナリオに記載した個々の作業手順は簡単な動作手順だが、手順数が多かったり、似た手順があったりすると、正確に覚えるには時間がかかる。AI 帳票は 3.3 の対話制御モデルを使って、今実行すべき作業手順を一つずつ音声でガイドする。作業員が作業し、発話した結果に基づき、次の作業を指示するので、手順を迷ったり、思い出したりする必要はなく、テンポよく作業できる(図 4(a))。

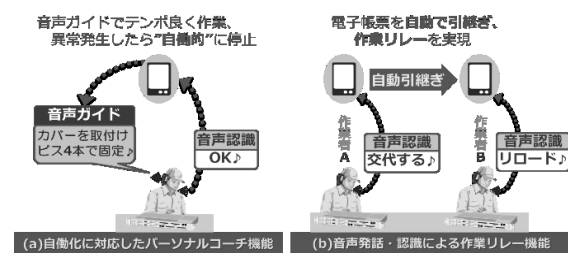


図 4: パーソナルコーチ機能と作業リレー機能

Figure 4: Images of personal coaching function and pass-the-baton function

また、例えば、作業員が製品組立て作業中にネジ穴に変形があったり、ビスに不具合があったりする異常に気づき、「中断する」と発話したら、AI 帳票は自動で帳票インスタンスを未完了の作業トレイに入れる(紙の実在性の実現例)。このように作業員が異常に気づいたら、AI 帳票の機能を音声対話で止められる自動化をサポートしている。

## (2) 作業リレー機能

作業リレー機能は、作業中に作業員間で作業引継ぎを音声対話で実現する機能である。3.2の帳票管理のデータ管理モデルを用いて、帳票インスタンスとの音声対話によって紙と同等の可搬性を実現する。複数の作業員が製品組立てをしている場合、作業員の熟達度によって作業時間に差がでることがある。作業時間差は仕掛品の滞留要因となるので、作業員間で作業を引き継ぐケースがある。紙帳票の場合には、2.2.1(1)で述べたように仕掛品に紙帳票を添付して作業員に渡して作業を引き継ぐ。AI帳票では作業引継ぎを音声対話で実現する(図4(b))。例えば、作業員Aが作業手順No.15で遅れを感じ、作業員Bに引き継ぐ場合、Aが「交代する」と発話しながら、仕掛品をBに手渡す。Bが仕掛品を受け取りながら「リロード」と発話すると、Aの帳票インスタンスを引き継ぎ、Bは作業手順No.16から作業を継続できる(紙の可搬性の実現例)。

## (3) 作業実績リアルタイム収集機能

この機能は、作業員が音声ガイダンスに従って作業し、作業結果を発話するだけで、作業実績をリアルタイムにデジタルデータ化するIoT機能である。AI帳票は音声ガイダンスの終了時刻  $T_e$  と、作業結果の音声発話の認識時刻  $T_r$  を記録する。終了時刻  $T_e$  は作業開始時刻、認識時刻  $T_r$  は作業終了時刻に対応するので、AI帳票は図5のように作業結果、開始時刻、終了時刻を作業手順ごとに作業実績として収集する。作業実績をExcel®で読み込み、 $T_e$  と  $T_r$  の差を自動計算すれば作業時間を計測できる。作業手順ごとの標準作業時間と作業時間とを比較し、グラフ化すれば作業時間のバラツキも可視化できる。このように、Excel®で作成した対話シナリオから作業実績のバラツキ検証まで現場のできるので、改善サイクルを高速化できる。

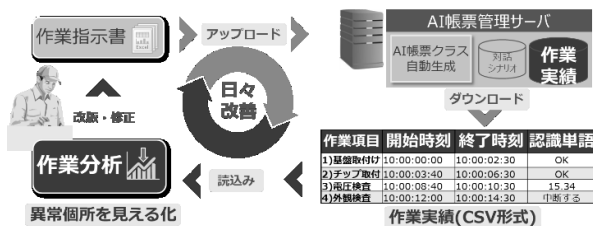


図 5: 作業実績のリアルタイム収集機能と作業分析

Figure 5: Visualization of data of actual result time for manual works

## 4.3 音声対話を支える耐騒音音声認識

AI帳票の実現のカギの一つは、音声認識技術である。紙帳票への読み書きや紙帳票の引継ぎなど運用管理を音声対話で置換えるには、現場の騒音環境でも高精度に認識する音声認識エンジンが重要である。音声認識エンジンに、セリ市場やコールセンターなど高騒音の現場 200 箇所以上で採用実績[30][31]がある耐騒音音声認識 VoiceDo[32][33]を採用し、AI帳票のアイズフリー・ハンズフリー対話を実現

した。VoiceDo 専用ヘッドセット以外に市販の高性能ヘッドセット[34]も使えるので、通常騒音から高騒音の現場まで、幅広い利用シーンで AI 帳票を利用できる(図 6)。

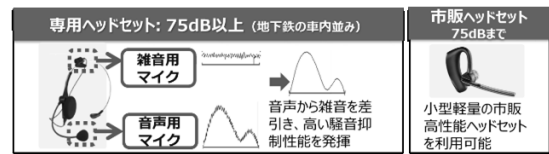


図 6: 耐騒音音声認識エンジン VoiceDo とヘッドセット

Figure 6: Speech recognition engine “VoiceDo” for noisy environment, and headset

## 4.4 User Experience(UX)デザイン

現場作業支援 SL は、標準作業の訓練、実践、改善の各段階の用途に適した UX デザインを採用している。

訓練・実践段階では、アイズフリー・ハンズフリー作業を徹底するべく、音声対話だけで AI 帳票への入力・修正や作業の開始・中断・再開など帳票管理を制御できる(図 7①, ②)。例えば、作業結果の誤りに気づいたり、復唱を聞いて間違いと判断したりした場合には、作業員は「前に戻る」と発話して間違いを修正できる。実践段階で作業に慣れてくると、作業指示を短くして運用できる。また、図 7 の①, ③の合成音声による作業指示と復唱で用いる合成音声の再生スピードも AI 帳票端末の設定で変えられるので、習熟度に応じて作業員が自分の好みで設定できる(紙のカスタマイズ容易性に相当)。さらに、慣れてくると、作業指示ガイダンスの読上げ中でも作業員の音声発話を認識させるように AI 帳票端末の設定で変えられる。

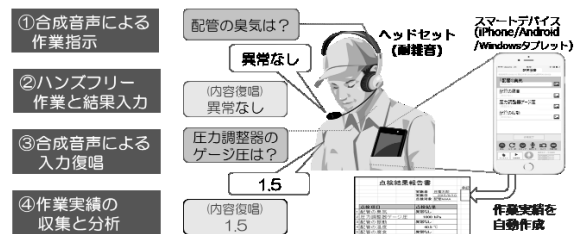


図 7: 現場作業支援 SL の UX デザイン

Figure 7: An image of design of user experience of a standard process improvement solution

改善段階では、4.2(3)で述べたように作業実績を Excel®で取り込めるので、現場だけで作業分析・改善ができる(図 7④)。常時ネットワーク接続環境では AI 帳票による運用が定着すると、作業実績のアップロードは手間になる。そのため、AI 帳票端末では作業終了時や作業手順ごとに作業実績を自動アップロードする設定を備えている。一方、屋外やネットワーク接続が禁止されている場所では、自動アップロードは使わずに、ネットワーク接続可能な場所(事務所など)でアップロードする。また、管理サーバの作業実績データベースは外部インターフェースを持っているので、図 3 のデータ分析システムから直接、作業実績を読み込んで、可視化・分析するシステムも構築できる。

## 5. 実証・評価

現場作業支援 SL を NEC プラットフォームズの福島事業所で約 1 年 10 か月間、実証・評価した結果を報告する。

### 5.1 実証実験

現場作業支援 SL を実証・評価するにあたり、福島事業所では経営環境の激変にも勝ち残れる製造現場を目指して、[I]需要変動への対応、[II]品質管理コストの抑制、[III]自律的な現場改善という事業課題を抱えていた。具体的には、[I]需要変動に応じて繁忙期には数百人単位で増加する作業員に標準作業を低コストで習熟徹底させること、[II]作業品質を担保する品質チェック工程の作業コストや製品ごとの作業履歴の追跡コストを抑制すること、[III]作業品質・生産性の向上に繋がる自律的な作業改善を実現する仕組みの導入が重要課題であった。

そこで、実証実験では[I]不慣れた作業員の即戦力化、[II]品質管理作業の自動化、[III]現場改善サイクルの高速化の三つの観点で評価する方針とした。

#### (1) 予備実験

AI 帳票は、紙帳票の読み書きを音声対話に置換えても、作業効率を下げないことが前提なので、製品組立工程をモデルケースに効率低下の有無を調べる予備実験を実施した。具体的には、紙帳票に書くためにペンをとり、書いて戻すまでにかかる時間と作業手順数から、初回発話 95%以上の認識率を目標とした。責任者クラス 3 名が組立工程の模擬試験を約 1 か月間実施、20 万回以上の発話した結果、初回発話認識率 99.2%を達成し、次の定着検証に進んだ。

#### (2) 定着検証

定着検証では、組立作業工程で紙帳票を撤去し、AI 帳票の 4.2 の全機能を使い、[I]不慣れた作業員の即戦力化、[II]品質管理作業の自動化の効果を、約 3 か月間、検証した。

#### (3) 自律改善検証

自律改善検証では、組立作業工程以外の工程を含む全 10 工程に適用し、現場だけで全作業実績データを Excel®に取り込み、バラツキ検証し、改善点を発見するサイクルを自律的に回せるかどうかを約 2 か月間、検証した。

### 5.2 評価結果

訓練、実践、改善の各段階で紙と同等の運用容易性を実現しつつ、紙運用以上の導入効果を実現した。

#### (1) 定着検証の結果

定量評価は良好で、[I]不慣れた作業員の即戦力化では、3.1(1)の想定通り、訓練コストを 1/3 に削減できた(図 8)。紙帳票を使っていた時には、新人の作業員は 3 日間の実習が必要だったが、AI 帳票では 4.2(1)・(2)の機能により、訓練期間(含:作業引継ぎ)は 1 日で終了、翌日から生産ラインに加わるようになった。[II]品質管理作業の自動化については、組立作業工程で特に効果が顕著で、従来は作業中に品質チェックシートへの記入に 20%の時間を費やしていた

が、3.1(2)の想定通り、AI 帳票では品質維持しながら作業時間を 16%短縮できた。チェックシート記入作業に限れば 80%改善に相当する。その後、全 10 工程に適用を拡大し、生産性を約 20%向上できたので自律改善検証に進んだ。

#### (2) 自律改善検証の結果

全 10 工程で全作業員の作業実績のバラツキ検証を現場だけで実施し、3.1(3)の想定通り、[III]改善サイクル高速化に成功した。一例をあげると、従来は見逃していた「ネジを落として拾う」動作や作業順序の違いによる時間差を顕在化できた。ビデオ撮影とストップウォッチ計測による月 1 回の作業分析ではサンプリング検証に過ぎなかったが、AI 帳票の 4.2(3)の機能により全数検証が可能になった。日に 2 回(午前と午後)にバラツキ検証を現場だけでできるので、紙帳票と比べて月換算で約 40 倍の高速化に相当する。

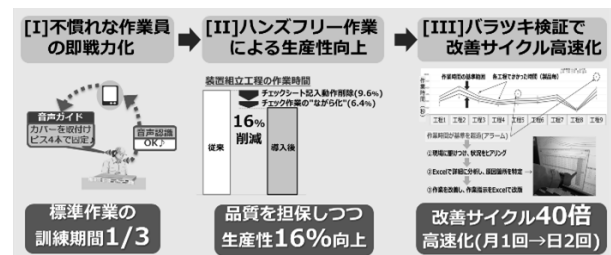


図 8: 評価結果

Figure 8: Results of experiments

### 5.3 考察

実証実験の結果が示すように、現場作業支援 SL は、紙の“読み書きし易さ”や“作業引継ぎなどの運用容易性”を持つ AI 帳票を実現し、製造現場の人作業の訓練・実践・改善の各段階で、訓練コスト削減、生産性向上、改善サイクル高速化の効果を実証した。その結果、福島事業所では、AI 帳票を採用する生産ラインを増やしている(図 9)。



図 9: ハンズフリー化を実現した NEC プラットフォームズ福島事業所の組立検査工程

Figure 9: NEC platforms fukushima factory adopts AI-forms in both assembling process and inspecting process

AI 帳票との音声対話を通じた訓練・実践の作業効率向上も重要な成果だが、人作業の品質・生産性の持続的向上の観点からは、自律改善検証で実証した改善サイクル高速化が、より重要だと考えられる。O-Ring 理論の帰結では、同一の競争条件であれば作業品質・生産性向上の改善サイクルが速い方が、比較優位に立てるからである。



## 6. おわりに

本稿では、IoT/AI/クラウドなど ICT の進展が著しい中でも残る人作業の重要性を、IoT 事例、経済学の O-Ring 理論、社会政策の観点から指摘し、作業品質・生産性を持続的に向上させる AI 帳票の概念を提唱した。AI 帳票は従来の電子帳票で失われがちな「紙の読み書きし易さ」や「作業引継ぎなど紙の運用容易性」を音声対話(AI)で実現し、生産性向上と作業実績収集(IoT 化)を両立する電子帳票である。この AI 帳票を製造/物流/建築/流通/サービスの現場の標準作業の訓練・実践・改善に活用できる現場作業支援 SL も提案した。本 SL を NEC プラットフォーム福島事業所で約 1 年 10 か月間評価し、良好な結果を得た。具体的には、AI 帳票により、不慣れな作業員の訓練コストを 1/3 に削減、品質管理を効率化し生産性を約 20%向上、製造現場のスキル改善サイクルを約 40 倍高速化する効果を実証した。O-Ring 理論の示唆によれば、作業品質・生産性の持続的な向上が大きな差となり、国/企業/製品/サービスの優勝劣敗に繋がるので、本 SL が企業の競争力向上に貢献できる可能性を示した。今後は、従来の電子帳票[24]とも連携し、帳票管理業務から作業改善までを一貫してサポートする SL や、流通などサービス分野への展開も市場を通じて実証していく。

**謝辞** 実証実験の場を提供頂いた佐藤 秀哉氏、野地 英男氏、他ご協力頂いた NEC プラットフォーム福島事業所の方々に感謝いたします。

## 参考文献

[1] “Siemens PLM Software Industry 4.0”.  
<https://community.plm.automation.siemens.com/siemensplm/attachments/siemensplm/Thought-Leadership-Blog/33/1/Siemens-PLM-Industry-4%200-Infographic.pdf>, (参照 2017-06-16).

[2] “IoT に関する標準化・デファクトスタンダードに係る国際動向調査”. [www.meti.go.jp/medi\\_lib/report/2016fy/000607.pdf](http://www.meti.go.jp/medi_lib/report/2016fy/000607.pdf), 経済産業省, 日立コンサル (参照 2017-06-16).

[3] Michael Kremer, “The O-Ring Theory of Economic Development”. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.108, No.3, (Aug., 1993), pp.551-575

[4] “David Autor: Will automation take away all our jobs?”.  
[https://en.tiny.ted.org/talks/david\\_autor\\_why\\_are\\_there\\_still\\_so\\_many\\_jobs](https://en.tiny.ted.org/talks/david_autor_why_are_there_still_so_many_jobs), (参照 2017-06-16).

[5] Neva Goodwin, et.al, “Principles of Economics in Context”. Routledge, 2014/3/11.

[6] “働き方改革実行計画(概要)”,  
<http://www.kantei.go.jp/jp/headline/pdf/20170328/05.pdf>, 厚生労働省, 2017/3/28. (参照 2017-06-16).

[7] 遠藤 功. 現場力を鍛える. 東洋経済新報社, 2004/2/26.

[8] 第 6 章 社内標準化と TQM.. [http://www.jsa.or.jp/wp-content/uploads/1\\_06.pdf](http://www.jsa.or.jp/wp-content/uploads/1_06.pdf), 日本規格協会, (参照 2017-06-16).

[9] “生産性とは”. <http://www.jpc-net.jp/movement/productivity.html>. 日本生産性本部, (参照 2017-06-16)...

[10] 大野耐一, トヨタ生産方式. ダイヤモンド社, 1978/5/25.

[11] Mike, Rother, John Shook, 成沢(訳). トヨタ生産方式にもとづく「モノ」と「情報」の流れ図で現場の見方を変えよう!! , 日刊工業新聞社, 2001/8/10

[12] 鈴村 尚久, トヨタ生産方式の逆襲, 文春新書, 2015/1/20

[13] Mike Rother, 稲垣(訳). トヨタのカタ, 日経 BP 社. 2016/1/26.

[14] “IE 手法: その実践的活用法”,  
<http://qcd.jp/pdf/corporateActivuty/IE-Manual.pdf>

[15] 北崎 允子, 蓮池 公威, 紙と手作業による仕事の観察を通じた「ドキュメントの受け渡し」のデザイン. 富士ゼロックス テクニカルレポート No.24 2015.

[16] “あなどれない「手書き」の学習効果”,  
<http://jp.wsj.com/articles/SB12748367622113273976104581644331252188072>, (参照 2017-06-16)

[17] 中西美和, 安間裕起, 中村洋平, 勝木辰明, マニュアルのメディア形態が作業手順の学習に及ぼす影響: 媒体の違い及びコンテンツの違いに焦点を当てて, 人間工学 Vol.49, No.3(2013).

[18] トップラン・フォームズ(株), 「紙媒体の方がディスプレイより理解できる」 <http://www.toppan-f.co.jp/news/2013/0723.html>. 2013/7/23, (参照 2017-06-16)

[19] 深谷拓吾, 小野進, 水口実, 中島青哉, 林真彩子, 安藤広志, メディアの違いが校正作業に与える影響〜マニュアル作成における事例〜. 情報処理学会第 73 回全国大会 2011.

[20] 波多野 文, 関根 崇泰, 伊 智充, 井原 なみは, 田中 裕子, 村上 智子, 衣川 忍, 入野 宏, 紙ノートとタブレット端末の使用が学習時の認知負荷に及ぼす影響-脳波を用いた検討-, 信学技報, vol. 115, No. 185, HCS2015-48, pp. 39-44, 2015/8.

[21] “現場作業の電子化の御提案 XC-Gate.ENT”,  
[http://www.wavefront.co.jp/system\\_i/XC-Gate/XC-Gate.pdf](http://www.wavefront.co.jp/system_i/XC-Gate/XC-Gate.pdf), (参照 2017-06-16).

[22] “iPad, iPhone, Windows タブレットによるペーパーレス『現場帳票』記録・報告・閲覧ソリューション i-Reporter”,  
<http://conmas.jp/product/>, (参照 2017-06-16).

[23] “快作レポート+: タブレットによる業務報告システム”,  
[http://www.hitachi-solutions-create.co.jp/solution/feature/kaisaku\\_report/index.html?lfcpid=17&gclid=EAlaIqObChMlRlX53MCF1QIVfImPCh1rIQRaEAAYASAAEgLqGvD\\_BwE](http://www.hitachi-solutions-create.co.jp/solution/feature/kaisaku_report/index.html?lfcpid=17&gclid=EAlaIqObChMlRlX53MCF1QIVfImPCh1rIQRaEAAYASAAEgLqGvD_BwE), (参照 2017-06-16).

[24] “巡視・保守点検システム SmartMaintenance”,  
<http://jpn.nec.com/engsl/pro/smartmainte/index.html>, (参照 2017-06-16).

[25] “音声認識システム(TENKENMAN-V)”, <http://www.asahi-kasei.co.jp/aecis/solutions/voice/>, (参照 2017-06-16).

[26] “音声技術を利用した作業支援ソリューション ANIMO”,  
[https://www.animo.co.jp/for\\_biz/vaw](https://www.animo.co.jp/for_biz/vaw), (参照 2017-06-16).

[27] 赤津 裕子, 小松原 明哲, 機器操作を支援する音声と視覚ガイドダンスに関する検討, 日本人間工学会第 49 回大会, セッション ID: 2F1-3, 2011/02/19

[28] 2016 年度 Good Factory 賞 受賞企業, 一般社団法人 日本能率協会, <http://www.jma.or.jp/mono/factory/award/index.html>, (参照 2017-06-16).

[29] “イノベーションサービス”, <https://www.parc.com/jp/work/focus-area/エスノグラフィのサービス/>, (参照 2017-06-16).

[30] “音声受注入力システム”を導入注文の処理時間を 6 割減, 日本酒類販売(株),  
<http://www.itmedia.co.jp/enterprise/articles/0909/15/news039.html>, (参照 2017-06-16).

[31] “VoiceDo 活用シーン”, <http://jpn.nec.com/voicedo/jirei.html>, (参照 2017-06-16).

[32] 塚田 聡: 耐騒音音声認識装置 VoiceDo, NEC 技報 Vol.63 No.1 <http://jpn.nec.com/techrep/journal/g10/n01/pdf/100117.pdf>, 2010/2

[33] 服部 浩明, 辻川 剛範, 耐雑音音声認識エンジン VoiceDo の応用, 情報処理学会 Vol.2013-SLP-98, No.3, 2013/10/15.

[34] “Voyager legend”, <http://www.plantronics.com/jp/product/voyager-legend>, (参照 2017-06-16)