

# IoT がもたらすモノづくりの安全 ～ Safety2.0 時代の協調安全



明治大学名誉教授

## 向殿 政男 Mukaidono Masao

1970年明治大学大学院工学研究科博士課程修了、工学博士。元理工学部長。主に情報学、安全学、論理学、特にその中でもファジィ理論、フェールセーフ理論、機械安全、多値論理の研究に従事。セーフティグローバル推進機構会長。

### “繋がる時代”の波を安全へ

今まさに、“モノ”（Thing）とモノとが繋がる、すなわちさまざまなモノに組み込まれたコンピュータ同士が互いにインターネットを通じて繋がって通信し合う、いわゆる“モノのインターネット”IoT（Internet of Things）の時代を迎えようとしている。この概念はAI（Artificial intelligence：人工知能）やビッグデータ（Big Data）の発展とあいまって、ますます脚光を浴びていくであろう。

コンピュータが超高度化・小型化されて小さなモノにも組み込まれる一方、インターネットも十分発達してスピード・容量の問題が解決されてきた現在では、コンピュータチップが埋め込まれた部品、センサー、カメラ等々のモノがコンピュータシステムと、そしてモノとモノ同士が互いに繋がることはごく自然な流れである。ここでのモノの中には、機械・設備のみならず、環境や人体なども対象として情報を収集し発信するセンサー等も当然含まれる。

繋がったことにより流れていくデジタル情報がビッグデータとして蓄積され、AIで解析、診断、予測等が行われれば、製造現場、家庭、自動車などさまざまな分野に応用されていき、社会はより便利に、そして世界が変わっていくと期待できる。ものづくりの現場では大量生産が抜本的に効率化される一方、少量多品種生産は柔軟で廉価に実現できるようになるだろう。またスマートカー（知能化した自動車）の普及により、運転者・車・歩行者などが情報を共有して安全で効率的な道路交通を実現する取組みなど、現実にもその方向に動き出しているものもある。

このようにさまざまな分野で発達しつつあるIoTの機能を産業安全の世界にも導入し、機械と人とが情報を共有して共同で安全を実現できる“協調安全”を技術的に実現するために「Safety2.0」の考え方を提案している。

### これまでの安全

ものづくりの世界において、人間は何をもって働く人の安全を確保してきた

か、その方策のたどった歴史を振り返ってみる。

### 【Safety0.0】

最初は、人間の注意力が頼りで「危ない機械は注意して使え、自分の身は自分で守れ」という時代である。人間を守るための“安全技術”は存在せず、自分自身が“安全機能”を発揮しなければならないという、この段階を「Safety0.0」と呼ぶ。

### 【Safety1.0】

そして次は、機械・設備側はできるだけ安全に設計して、残った危ないところを人間に伝え、そこに注意させる、という段階である。人間は間違いを犯すものであり、Safety0.0の時代においては人のミスや危険な機械を使用することによる事故が絶えなかった。その後、技術の進歩に伴って人間よりもはるかに信頼性の高い機械が作られるようになると、人間の注意力による安全確保の前にまず機械側を安全にする、すなわち、技術によって安全を確保する時代に入った。この時代を「Safety1.0」と呼ぶ。

現代は、まさにこの Safety1.0 の時代に当たると言ってもよい。

## 機械安全の3つの技術

Safety1.0 の時代における機械安全設

計の変遷を概観すると、大きく分けて「本質安全」「制御安全」「機能安全」の3つの技術に分類できる（表1）。

「本質安全」は機械的な構造で安全を確保する方策であり、危険箇所（危険源）を除去して機械本体そのものをはじめから安全に作る、すなわち、危険なところが最初からないように、また、たとえば事故が起きてもそのひどさが大きくなるないように配慮して作るものである。

「制御安全」は電気・電子的な制御機構で安全を確保する方策である。本質安全化の後で残ったリスクに対して、安全防護方策（安全装置）によってリスクを低減するものである。例えば、ある一定の温度になったら物理的に動作を止める、というものがこれに当たる。

「機能安全」はコンピュータを導入して安全を実現しようとする技術である。制御安全の機構は機械本体に組み込まれているが、機能安全は、機械本体とは別に付加的な装置として付けた安全装置が、相手の状況を見て作動したり停止したりするものであり、現在はこの段階までできているといえる。

ただし、新しい技術が生まれたからといって、前の技術が不要になったわけではなく、安全装置が発達することにより、本質安全をおろそかにされることを

表1 ものづくり安全の歴史

0. 人間の注意で安全が確保されていた時代	Safety0.0
1. 技術で安全を確保する時代 1.1 機械的な構造で安全が確保される時代（本質安全） 1.2 電気・電子的な制御機構で安全が確保される時代（制御安全） 1.3 コンピュータを用いて安全が確保される時代（機能安全）	Safety1.0
2. 人間とモノと環境が情報を共有して、協働して安全を確保する時代	Safety2.0

表2 機械安全設計におけるリスク低減のスリーステップメソッド

第1ステップ	「本質的安全設計」によるリスクの低減
第2ステップ	「安全防護（付加保護方策）」によるリスクの低減
第3ステップ	「使用上の情報」の提供によるリスクの低減

懸念している。本質安全化をきちんと実施していれば、かなりの事故は防げると認識しなければならない。

## Safety2.0の時代へ

### 【Safety2.0】

Safety1.0時代の3つの安全技術は、機械安全の国際規格でリスク低減策の手順とされる「スリーステップメソッド」（表2）にも対応するものである。

第1ステップで施すべき「本質的安全設計」によるリスクの低減は、表1の「技術で安全を確保する時代」の「本質安全」。そして残留リスクに対応する第2ステップの「安全防護（付加保護方策）」によるリスクの低減は表1の「制御安全」。そしてその発展形であるコンピュータによる安全の確保が「機能安全」に相当している。

そして最後の第3ステップは、IoT時代のこれからのものづくりの向かうべき新しい方向を指し示していると思われる。

「使用上の情報」の共有と協働によるリスクの低減は、機械と人間のコミュニケーションにより、それを使用する人間の経験・知恵・価値観をも取り込み、「機械と人間と環境が情報を共有し、協調して安全を確保する時代」を予言していると考えたい。そして、これを「Safety2.0」の時代と呼ぶことにする。表2の第3ステップは表1のSafety2.0に対応する。

## Safety2.0がもたらすもの

こうした、人とモノと環境のコミュニケーションによる Safety2.0 時代の安全の概念を「協調安全（コラボレーション・セーフティ）」と呼ぶ（図）。

Safety2.0 が実現するものとして「止めない安全」が考えられる。従来の安全装置は「人間が近づいたら機械を止め、人間がいなくなったら機械を動かす」という“2値論理の制御”である。人間にその経験、資格、能力や熟練度などの情報を持つセンサーなどを取りつけて、「熟練者ならば通常で速度で動かし、初心者ならばゆっくりと動かす」「人が近づけば近づくほど速度を落とす」というように“多値論理の制御”が実現できれば、安全性を保ちつつ、稼働率を上げて生産性を向上させることが可能になる。

また「安全の見える化」の可能性も見出せる。人体に取り付けた体調監視センサー、インフラなどの大型構造物に取り付けた状態監視センサーを活用し、人の体温・発汗・脈拍などの生体情報、またトンネル掘削中の岩盤の圧力や浸水状態などの環境情報を常時監視して情報を表示して安全が見える化すると、緊急時に危険を回避することが可能になる。

さらに「人間と機械の協調に基づくフェールセーフ」の可能性もあげられる。これまでのフェールセーフは「機械の部品に障害が発生すると機械が止まる」などで安全側になるものであった

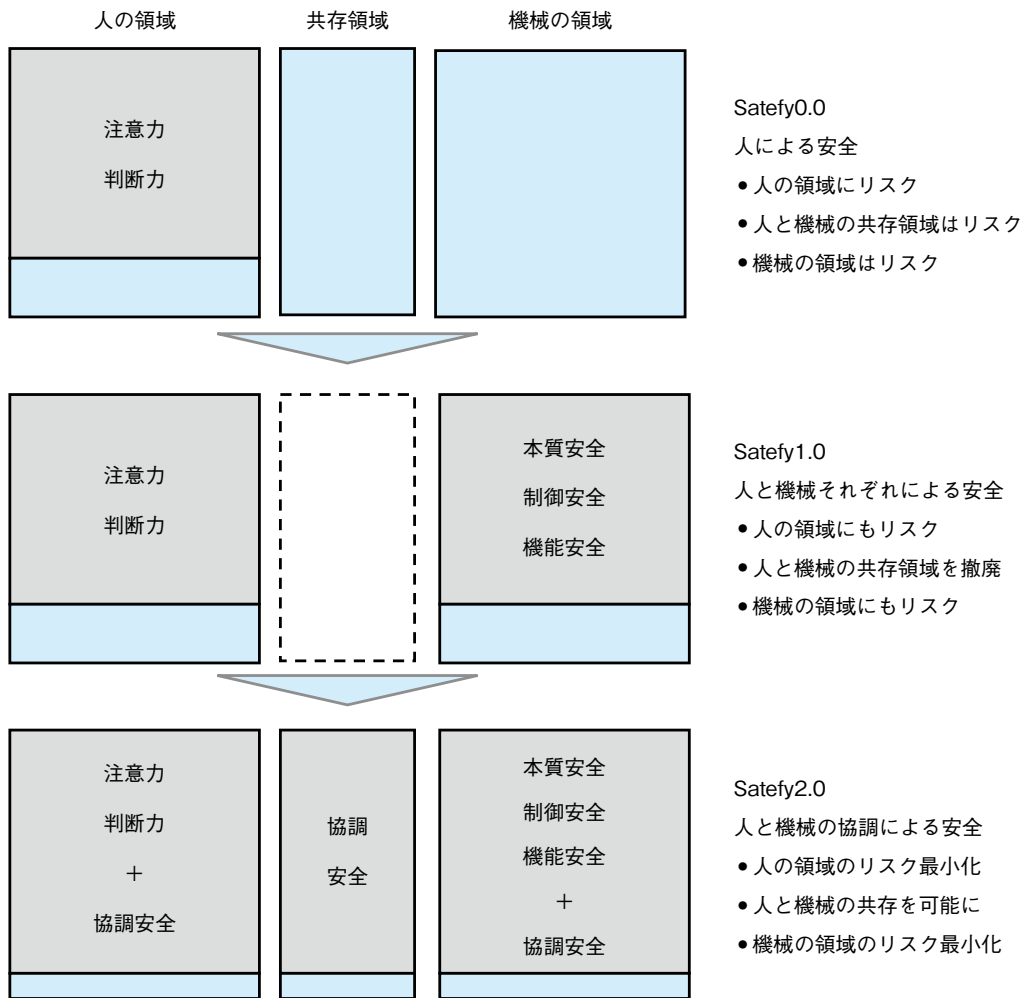


図 Safety2.0時代の協調安全

が、機械と人間とが情報で繋がり互いに協調すると、機械側の従来のフェールセーフに加えて、人や環境側に障害が発生したときにも、その情報を受けて機械が安全側に誘導して危険を回避することが可能になるということである。いわばコラボレーション・フェールセーフの実現である。

これらは Safety2.0の時代に予想されるほんの一部であり、現実には非常に多くの可能性が存在することは間違いない。情報共有が高度に進みシステムが巨大になると、情報セキュリティの問題

や、1つのトラブルがシステム全体に波及する危険など、対応すべき新たなリスクも考えなければならない。しかし、これまでの安全管理を新しい時代に相応しく進化させていく考え方として、それらのリスクを乗り越えるべく積極的に取り組んでいくべき価値のあるテーマであると確信している。

#### 参考文献

- 向殿政男、入門テキスト安全学、東洋経済新報社、2016-3