

디지털 팩토리 프레임워크: 의미적 상호 운용성을 위한 국제 표준

Kaoru Onodera^{*1}

“스마트 제조 (Smart Manufacturing)”는 제조업의 이상적 상태에 대해 국제적으로 합의된 개념입니다. 이를 달성하기 위해서는 서로 다른 아키텍처를 가진 시스템이 그 의미를 훼손하지 않으면서 정보를 교환해야 합니다. 다시 말해서, 시스템은 서로 연결될 뿐만 아니라 상호 이해해야 합니다. 이 중대한 요건을 의미적 상호 운용성 (semantic interoperability) 이라고 부릅니다. 디지털 팩토리 프레임워크는 Yokogawa가 그 개발에 기여한 국제 표준입니다. 그 목적은 의미적 상호 운용성을 달성함으로써 스마트 제조의 기반을 확립하는 것입니다. 이 표준은 공통 개념을 기반으로 공통 모델 요소의 구조 및 그 사용 규칙을 정의하고, 생산과 관련된 “복합 시스템 (system of systems)”의 다양한 정보를 통합합니다. 전 세계적으로 관련된 구현 기술이 이 표준을 준수할 경우, 생산 시스템을 표현하는 디지털 정보 (Digital Factories)는 최신 상태를 유지하면서 생산 시스템의 라이프 사이클 전반에 걸쳐서 모든 당사자가 이용할 수 있게 될 것입니다. 본 글은 디지털 팩토리의 프레임워크, 스마트 제조를 위한 국제 표준화의 중요성, 그리고 이러한 노력에 대한 Yokogawa의 헌신에 대해 개괄적으로 설명합니다.

서문

사회와 경제가 글로벌화 되고 비즈니스 가치가 상품에서 정보로 옮겨가면서 국제 사회는 정보의 폭발적 증가, 지식 전달의 어려움, 탈 탄소화 (decarbonization), SDG에 대한 대응 등 다양한 도전에

직면해 있습니다. AI, 로봇 공학, 사물 인터넷 (IoT) 등의 신기술이 이러한 과제를 해결하는 데 도움이 될 수도 있지만, 이러한 기술이 안전과 안보를 위협하고 고용 불안과 같은 새로운 문제를 일으킬 수 있다는 우려도 있습니다. 이런 상황에서 선진국들은 글로벌 사회경제 생태계 구축을 목표로 한 활동을 시작했습니다. 대표적인 예로는 유럽 연합 집행 위원회 (European Commission) 가 제안한 “유럽의 디지털 미래 형성 (Shaping Europe’s Digital Future)”⁽¹⁾ 및 관련 프로젝트 GAIA-X⁽²⁾, 그리고 일본 정부가 추진하는 Society 5.0⁽³⁾ 등이 있습니다.

^{*1} Technology Marketing Department 1,
External Affairs and Technology Marketing Center,
Marketing Headquarters

제조업 또한 사회 경제적 변화에 대응하여야 하며, 스마트 제조 (Smart Manufacturing)의 개념은 국제적으로 다양한 상황에서 논의 되어 왔습니다.

본 논문은 스마트 제조를 달성하기 위한 핵심 기술을 명시한 국제 표준인 디지털 팩토리 (Digital Factory) 프레임워크에 대해 소개 합니다.

스마트 제조 및 국제 표준화

스마트 제조는 제조 가치 사슬 (Value Chain)과 제품 및 생산 시스템의 전체 라이프 사이클을 포괄하는, 제조업의 이상적 상태에 대한 공통적인 국제적 이해를 나타내는 개념입니다. 스마트 제조는 디지털 기술을 사용하고 광범위한 시스템을 연결하여 새로운 부가가치를 창출하는 것을 목표로 합니다. 이를 달성하기 위해서는 시스템이 서로 연결될 뿐만 아니라, 상호 이해할 수 있어야 합니다.

ISO⁽⁴⁾ 및 IEC⁽⁵⁾는 모두 국제 표준화 기구로서, 다음과 같이 스마트 제조를 정의합니다.

“제품과 서비스를 만들고 제공하기 위해 사이버, 물리적, 인적 영역에서 프로세스와 자원을 통합적이고 지능적으로 사용함으로써 그 성과 측면을 개선하는 제조로, 이는 또한 기업의 가치 사슬 내에서 다른 영역과도 협력한다.”

위에서 정의한 바와 같이, 제조 성과 개선을 위해서는 경영 정보와의 협력이 필수적이며, 기업의 궁극적인 목표는 이러한 협력을 통해 경영 성과를 향상시키는 것입니다. 이는 제조와 관련된 공급망의 모든 요소가 협력할 때에만 달성될 수 있습니다. 제조업은 그동안 글로벌화가 깊숙하게 이루어졌기 때문에 그 공급망은 단일 국가에 한정되어 있지 않고 전 세계로 뻗어 나갑니다. 따라서 스마트 제조를 달성하기 위해서는 언어, 문화, 국가, 지역, 산업, 비즈니스 유형 및 역할에 관계없이 보편적인 정의와 규칙을 확립하는 것이 필요합니다. 즉, 스마트 제조는 국제 표준화를 필요로 합니다.

스마트 제조에 있어서 그 중요성은 독일의 스마트 제조 달성을 위한 이니셔티브인 Industrie 4.0⁽⁶⁾의 핵심으로 국제 표준화가 자리매김하고 있으며, EU 뿐만 아니라 미국, 중국, 일본 등 여러 다른 국가들도 이 이니셔티브에 대한 지지를 표명하고 있다는 사실로 입증됩니다. 국제 표준화는 스마트 제조를 달성하는 데 있어서 전 세계적으로 합의된 하나의 중요한 조치입니다.

기업 및 연합체 (consortia)가 상호식 방법으로 스마트 제조에 대해 독립적으로 일하는 것이 중요합니다. 그러나 국제 표준화를 고려하지 않고 진행할 경우 국제적으로 고립될 수 있습니다. 이러한 상태에서는 이들이 다른 국가의 기업 및 고객과 협업할 수 없으며, 결과적으로 스마트 제조가 특정 지역이나 기술에만 적용될 수 있습니다.

국제적 고립을 피하고 글로벌 협력을 달성할 수 있는 의미적 상호 운용성 (Semantic Interoperability) 실현이 스마트 제조 달성을 위한 국제 표준화와 관련하여 큰 주목을 받고 있습니다.

의미적 상호 운용성 (Semantic Interoperability) 달성의 과제

의미적 상호 운용성의 중요성은 “의미적 상호 운용성: 디지털 변환 시대의 과제” (IEC 시장 전략 위원회, 2019)에 잘 설명되어 있습니다⁽⁷⁾.

이 백서에서 의미적 상호 운용성은 “명확하고 공유된 의미를 지닌 데이터를 교환하는 컴퓨터 시스템의 능력”과 “기계 계산 가능 논리 (machine computable logic), 추론 (inferencing), 지식 발견 (knowledge discovery), 정보 시스템 간 데이터 연합 (data federation)을 가능하게 하는 요건”으로 정의됩니다. 물론 이것은 기계들이 상호 이해할 뿐만 아니라 해당 정보를 인간이 이해할 수 있도록 만드는 능력을 포함합니다. 의미적 상호 운용성은 서로 다른 아키텍처를 가진 (서로 다른 언어 및 프로토콜을 사용하는) 시스템이 정보를 교환하고 그 의미를 훼손하지 않으면서 사용할 수 있는 능력입니다. 이는 시스템이 서로 연결될 뿐만 아니라 언어, 문화, 국가, 지역, 산업, 비즈니스 범주, 역할 등의 차이에 관계없이 서로 이해한다는 것을 의미합니다. 의미적 상호 운용성은 스마트 제조를 달성하기 위한 필수 요소입니다.

제조업이 지속적으로 글로벌화 하면서, 기업과 국가의 경계를 넘어서는 공급망은 더 이상 이색적인 일이 아닙니다. 예를 들어, 프랑스의 한 회사가 제품을 설계하고, 방글라데시 및 브라질에 있는 기업들이 그 부품을 제조하며, 중국의 한 회사가 그 부품들을 조립하고, 일본의 한 기업이 완제품을 시장에 출시합니다. 이 공급망에서 각 기업이 사용한 도구 및 메커니즘은 일반적으로 각 국가의 문화에 적응된 아키텍처를 갖고 있습니다. 만일 이 공급망이 고정될 경우, 이러한 협업은 관련 기업들의 노력을 통해 유지될 수 있습니다. 그러나 우리는 VUCA (변동성 volatility, 불확실성 uncertainty, 복잡성 complexity, 모호성 ambiguity)의 시대, 즉 코로나-19 대유행, 자연 재해, 정치적 변화, 기술 혁신과 같은 예기치 못한 사건들로 가득 찬 시대에 살고 있습니다. 이로 인해 거의 모든 기업에 대해 공급망이 갑작스럽게 중단될 위험이 있습니다. 이에 대응하여, 특정 기업이나 공급망 내부 뿐만 아니라 구현 기술과 관련 없는 다양한 개방 옵션을 통해 언제든지 가장 적합한 공급망을 선택하고 최소한의 시간과 노력으로 이를 대체할 수 있는 글로벌 시스템이 구축되어야 합니다. 유연한 수평적 협업을 가능하게 하고 가치 사슬을 최적화하기 위해서는 제품 및 생산 시스템의 라이프 사이클 전반에 걸쳐서 정보를 통합하고 (계획 및 설계에서 폐기까지) 각 이해 관계자가 원활하게 정보를 이용할 수 있도록 해야 합니다. 이것은 의미적 상호 운용성을 통해 달성됩니다.

현재 다음과 같은 장애물들이 의미적 상호 운용성의 확립을 방해하고 있습니다.

■ 분산된 정보 (Decentralized information)

제조 시스템에 관한 정보가 다양한 문서, 도면 및 목록에 분산되어 있음.

■ 단편화된 정보 (Fragmented information)

정보가 디지털화 되어 있다 할지라도 여러 다른 시스템에 저장되어 있어서, 다른 시스템에서 사용하기 위해서는 다시 입력하거나 변환해야 함.

i Agility, efficiency, safety, security, sustainability, or other performance indicators specified by a company are included.

ii In addition to manufacturing, other domains specified by a company are included, such as engineering, logistics, marketing, procurement, and sales

■ 격리된 정보 (Isolated information)

한 시스템에서의 데이터 업데이트가 다른 시스템에 자동적으로 반영되지 않음.

지금은 상당한 인간의 개입이 필요합니다. 한편 디지털화는 정보 폭발을 초래했고, 데이터의 양은 이미 인간이 처리할 수 있는 용량을 넘어섰습니다. 의미적 상호 운용성은 이러한 정보의 홍수로부터 사람들을 구해줄 것으로 기대합니다. 이것은 스마트 제조를 달성하기 위해 해결해야 할 하나의 근본적인 문제입니다.

디지털 팩토리 프레임워크를 통해 얻는 것

의미적 상호 운용성을 확립하고 서로 다른 시스템이 서로를 이해할 수 있도록 하기 위해서는 식별 가능하고 이해할 수 있는 방식으로 개념을 정의하는 사전이 필요합니다 (예: IEC 61360-4 - 공통 데이터 사전⁽⁸⁾). 공유된 개념을 결합하고 이를 복합 정보로 이용하기 위해 구조를 공유하는 방법도 필요합니다.

디지털 팩토리 프레임워크는 공통 개념 사전을 기반으로 한 모델 요소들의 구조와 그 사용 규칙을 정의합니다. 사전에 정의된 개념들이 각 구성 요소의 공통 구조 (모델)와 그 사용 규칙을 기반으로 활용된다면 서로 다른 아키텍처를 가진 다양한 시스템들이 서로 연결되고 이해될 수 있을 것입니다.

전 세계의 통신 기술과 도구가 이 표준을 준수할 경우, 생산 시스템의 디지털 표현 (Digital Factory)을 구축하고 시스템의 라이프 사이클 전반에 걸쳐서 정보를 최신 상태로 유지하는 것이 가능할 것입니다. 결과적으로 관련된 사람들은 언제든지 해당 정보를 공유하고 사용할 수 있게 됩니다.

디지털 팩토리는 생산 시스템의 디지털 표현으로 정의되지만, 이는 단순한 디지털 표현 기술이 아니라 정보의 분산, 단편화 및 격리와 같은 의미적 상호 운용성의 장애물에 대한 하나의 솔루션입니다. 설계 및 시공 후 넘겨지는 생산 시스템의 정보를 디지털화 한 준공 도면 (as-built drawings)은 생산 시스템의 라이프 사이클 전반에 걸쳐서 관련 기업의 다양한 활동 및 소프트웨어 프로그램 중에서 디지털 팩토리로 공유됩니다. 디지털 팩토리에 대한 모든 추가, 삭제 및 변경 사항은 반영되고 업데이트 됩니다. 이를 통해 디지털 팩토리는 설계, 조달, 공사, 엔지니어링, 커미셔닝 효율 개선과 더불어, 생산 장비의 검사 이력이나 고장 정보의 참조, 예비 부품의 재고 정보 확인, 효율적 유지 보수 계획 수립 등을 통해 유지 관리 효율성을 향상시킬 수 있습니다. 그림 1은 생산 시스템의 라이프 사이클 전반에 걸친 디지털 팩토리와 기업 활동 간의 관계를 보여줍니다.

아울러, 기업은 생산 시스템을 개편할 때 이 정보를 사용할 수 있습니다. 종래의 준공 도면은 그 시점에는 시대에 뒤떨어져 버렸기 때문에 생산 시스템의 현재 상태를 파악하고 이를 문서화하는 데에는 엄청난 시간과 노력이 듭니다. 일단 디지털 팩토리 프레임워크를 사용하여 의미적 상호 운용성 (Semantic Interoperability)이 확립되고 나면 이 시간과 노력을 현저히 줄일 수 있습니다.

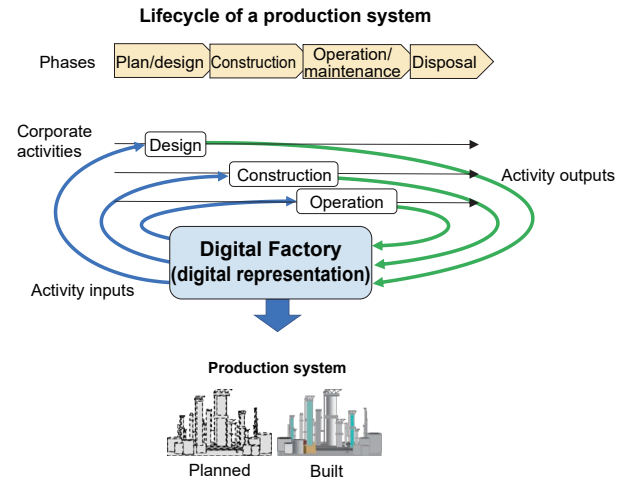


그림1 디지털 팩토리와 기업 활동 간 관계

디지털 팩토리 프레임워크의 개요

IEC 62832 디지털 팩토리 프레임워크는 IEC TC 65/WG 16에 의해 개발되었으며, 2020년 10월에 발표되었습니다. 이는 전반적 생산 시스템과 그 사용 규칙을 디지털로 표현하는 데 필요한 모델 요소의 기본 구조를 제공하며, 다음과 같이 세 파트로 구성되어 있습니다.

- IEC 62832-1 일반 원칙 (파트 1)⁽⁹⁾
- IEC 62832-2 모델 요소 (파트 2)⁽¹⁰⁾
- IEC 62832-3 생산 시스템의 라이프 사이클 관리를 위한 디지털 팩토리의 적용 (파트 3)⁽¹¹⁾

스마트 제조를 위해 개발 중인 대부분의 국제 표준 및 규격은 데이터 사전과 함께 시스템 구성, 통신/정보 보안, 하드웨어/소프트웨어 구현을 포함한 제반 시스템에 대해 명시하고 있습니다. 한편 디지털 팩토리 프레임워크는 이러한 시스템을 넘어선 정보를 통합합니다.

그 내용은 다음 섹션에서 설명되어 있습니다.

생산 시스템의 디지털 표현

디지털 팩토리 (Digital Factory)는 생산 시스템의 디지털 표현입니다. 실제 생산 시스템의 각 자산 (예: 장치)은 “DF 자산”이라고 불리는 모델 요소로 표현됩니다. “DF 자산”은 자산의 특성 뿐만 아니라 그 역할도 표현할 수 있습니다. 자산 간의 관계는 “DF 자산 링크”라고 하는 모델 요소로 표현됩니다. 디지털 팩토리는 “DF 자산 링크”를 통해 연결된 “DF 자산”의 집합입니다. 동시에 디지털 팩토리는 “Digital Factory”라고 불리는 하나의 모델 요소입니다. 그림 2는 간단한 디지털 팩토리의 예를 보여줍니다.

디지털 팩토리 프레임워크의 구조

그림 3은 디지털 팩토리 프레임워크의 기본 구조를 보여줍니다. 생산 시스템을 소유한 회사 (오너 기업)가 DF 사전과 DF 라이브러리를 만들어 디지털 팩토리를 구축하고 관리합니다. DF 사전은 오너 기업에 특화된 사전이며, 국제 표준화 기구, 컨소시엄, 또는 자산 제조업체가 관리하는 개념 사전을 기반으로 편찬됩니다. DF 라이브러리

는 오너 기업 내 생산 시스템 자산의 사내 마스터 데이터이며, 자산 제조업체가 제공하는 공급업체 라이브러리에서 선택된 필수 자산의 규격과 같은 정보 (제품 카탈로그 데이터)를 통합하여 만듭니다. DF 라이브러리 내 정보는 DF 사전으로 해석할 수 있습니다.

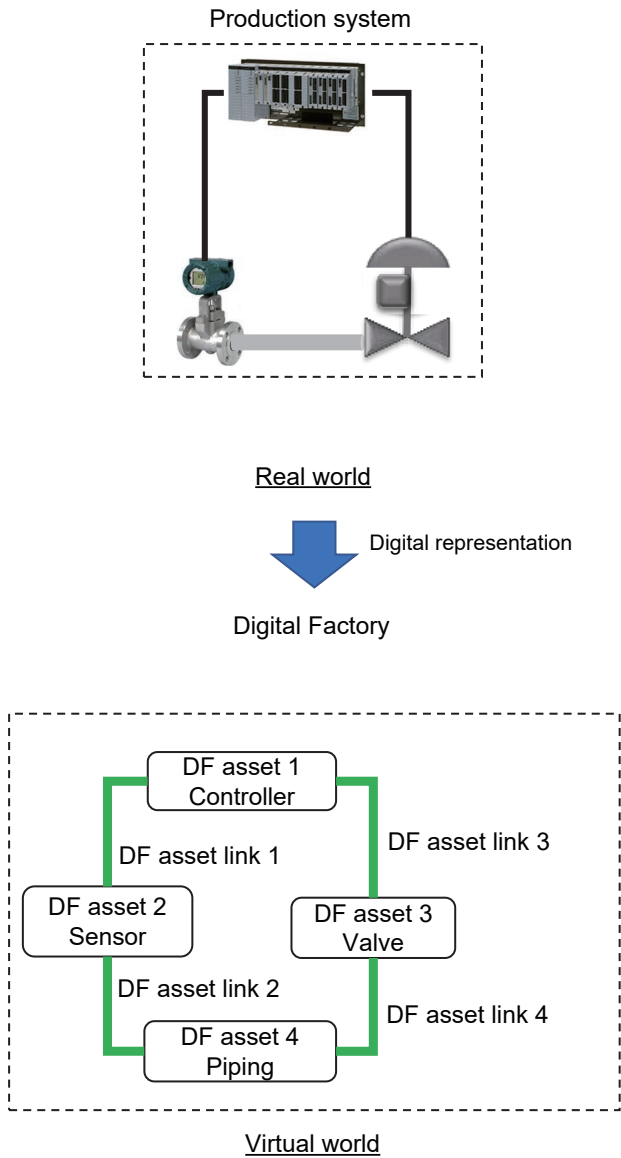


그림2 간단한 디지털 팩토리의 예

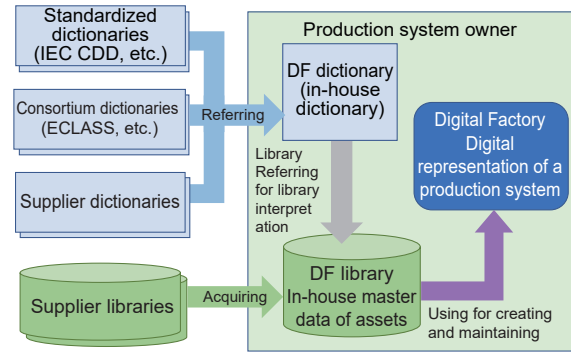


그림3 디지털 팩토리 프레임워크의 기본 구조

모델 요소 및 데이터 요소

모델 요소 (디지털 팩토리, DF 사전, DF 라이브러리 등) 의 구조와 모델 요소를 명시하기 위한 데이터 요소 유형에 대해 IEC 62832의 파트 2에 정의되어 있습니다. 모델 요소의 형식은 구현을 위한 유연성 및 확장성을 보장하기 위해 명시되지 않음을 유의하십시오.

개념 식별자 (concept identifier)는 의미적 상호 운용성의 핵심 데이터 요소입니다. 이는 사전의 각 항목에 대해 전 세계적으로 고유한 식별자입니다. 이 식별자를 사용하면 누구나 언어와 문화에 상관없이 각 개념을 정확하게 식별할 수 있습니다. 디지털 팩토리 프레임워크에 사용된 개념 식별자는 ISO TS 29002-5 특성 데이터 교환 - 파트 5: 식별 체계⁽¹²⁾에 명시된 국제 등록 데이터 식별자 (IRDI)를 따릅니다.

그림 4는 세 가지 단계로 모델 요소 간 일반적인 관계를 보여줍니다. “디지털 팩토리”의 “DF 자산”은 설치된 또는 설치될 각 자산 (예: 태그 번호 [예: FT-101] 또는 일련 번호가 주어진 자산)을 나타냅니다. “DF 자산”은 “DF 라이브러리”의 “DF 자산 클래스”에서 파생되었습니다. “DF 자산 클래스”는 자산의 유형별 특성 및 성능을 나타냅니다 (예: digitalYEWFO). “DF 자산 클래스”는 “DF 자산 클래스 정의”에서 파생됩니다. “DF 자산 클래스 정의”는 “DF 자산 클래스”의 가능한 모든 기능 및 특성에 대한 규격 항목을 정의합니다 (예: 외류 유량계). “DF 자산 클래스”는 “DF 자산 클래스 정의”의 적용 가능한 모든 규격 항목과 그에 상응하는 값을 사용하여 특정 유형의 자산 규격을 표시하는 반면, DF 자산은 해당 “DF 자산 클래스”를 기반으로 자산 또는 제조업체의 식별자, 용도별 기능, 특성, 파라미터 및 그 밖의 정보를 추가하여 자산을 설명합니다.

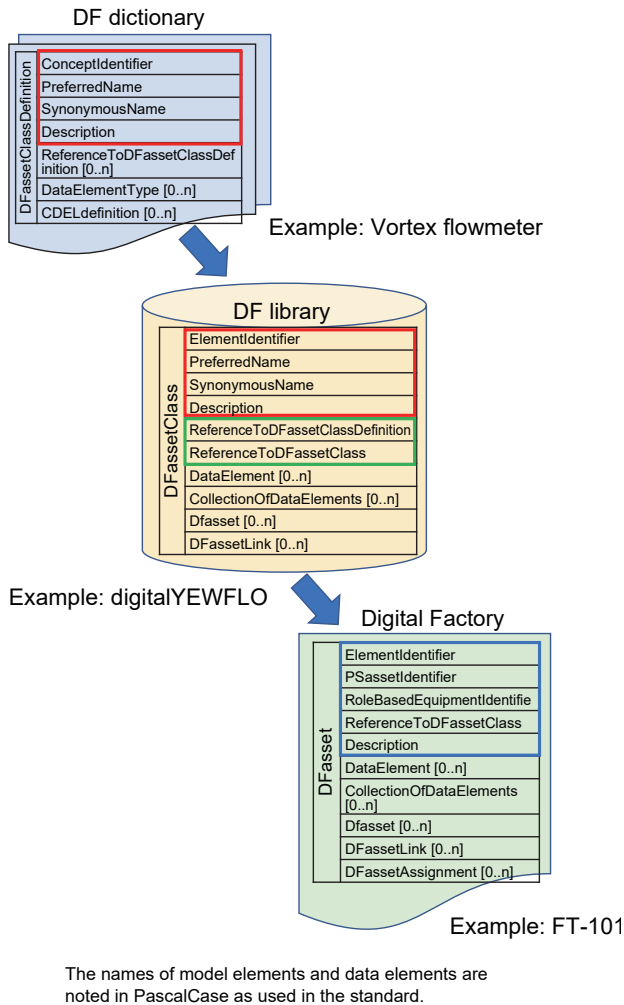


그림4 모델 요소 간 일반적인 관계

디지털 팩토리 프레임워크의 사용 규칙

IEC 62832의 파트 3은 생산 시스템의 라이프 사이클 전반에 걸쳐서 정보를 관리하는 데 필요한 다음과 같은 기능에 관한 디지털 팩토리 프레임워크의 사용 규칙을 명시합니다.

- 디지털 팩토리에 의한 생산 시스템 표현
- DF 자산별 자산 및 그 역할 표현
- DF 자산 링크별 자산 간 관계 표현
- 자산의 계층 구조 표현
- 관련 자산 간 호환성 확인
- 모델 요소의 상호 유도 (mutual derivation)

국제 표준화를 위한 Yokogawa의 노력

IEC 62832는 디지털 팩토리에 대한 국제 표준입니다. 이 표준의 개발은 “디지털 전환 (digital transformation)” 및 “디지털 트윈 (digital twin)”이라는 용어가 일반적으로 알려져 있지 않고 의미적 상호 운용성 (Semantic Interoperability)의 개념이 널리 인식되지 않았던 2011년에 시작되었습니다. Yokogawa는 이 표준을 개발하는

데 있어서 최초의 국제 전문가로서 큰 역할을 해 왔으며, 논의를 통해 용어를 정의하고 구체적인 모델 구조를 제안하는 등 그동안 지대한 공헌을 했습니다. 그 결과, IEC 사무국은 그 중요성을 인식했습니다. 이 표준의 개요는 IEC 지원 문서 (supporting documents)에 소개되었으며⁽¹³⁾, 관련 주체들이 IEC 뉴스⁽¹⁴⁾, 블로그⁽¹⁵⁾, 및 SNS⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾에 널리 발표되었습니다. 일본에서는 이러한 활동이 일본 전기 계측기 제조자 협회 (Japan Electric Measuring Instruments Manufacturers' Association, JEMIMA)⁽¹⁹⁾ 회보에 보고되었습니다. Yokogawa는 표준의 개발 뿐만 아니라 이러한 표준의 보급에도 크게 기여해 왔습니다.

그러나 스마트 제조의 실현 뿐만 아니라 제조업이 당면한 문제는 많습니다. 오늘날 세계에서는 전문 용어가 범람하고 정보가 폭발하는 가운데, 국제 표준화는 그 범위와 형태가 변화함에 따라 더욱 중요해질 것으로 예상됩니다. Yokogawa는 국제 표준화 활동에서 높은 존재감을 유지하며, 사회에 질서를 가져오기 위해 스마트 제조 분야 뿐만 아니라 다양한 그 밖의 분야에서 적절한 국제 표준 개발에 기여할 것입니다.

결론

디지털 팩토리 프레임워크의 목적은 국제 표준 및 높은 수준의 관념에 대한 포럼 표준 (IEC 공통 데이터 사전과 같은 개념 사전)과 생산 시스템에 구현되는 보다 구체적인 표준 (자동화 ML의 유형 및 사례⁽²⁰⁾⁽²¹⁾)을 연결하는 것입니다. 디지털 팩토리 프레임워크는 현재 스마트 제조를 위해 개발 중인 다양한 국제 표준과 독일의 표준화 위원회 Industrie 4.0에서 발표된 독일 표준화 로드맵 Industrie 4.0⁽²²⁾에서 참조됩니다.

앞으로 실현될 많은 스마트 제조 구현 기술 및 관련 도구는 개별 구현 기술을 뛰어 넘는 의미적 상호 운용성이 확립될 수 있도록 하기 위해 디지털 팩토리 프레임워크를 따르는 구조를 갖출 것으로 예상됩니다. 이를 통해 스마트 제조를 실현할 수 있게 될 것입니다.

참고문헌

- (1) European Commission, “Shaping Europe’s digital future,” <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en> (accessed on September 4, 2021)
- (2) “GAIA-X: A Federated Data Infrastructure for Europe,” <https://www.data-infrastructure.eu/GAIA-X/Navigation/EN/Home/home.html> (accessed on September 5, 2021)
- (3) Cabinet Office, “Society 5.0,” https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html (accessed on September 5, 2021)
- (4) ISO, <https://www.iso.org/home.html> (accessed on September 5, 2021)
- (5) IEC, <https://www.iec.ch/homepage> (accessed on September 5, 2021)
- (6) Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, “What is the Platform Industrie 4.0,” <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/Home/home.html> (accessed on September 5, 2021)
- (7) IEC MSB (Market Strategy Board), “Semantic interoperability: challenges in the digital transformation age,” 2019, <https://www.iec.ch/basecamp/semantic-interoperability-challenges-digital-transformation-age> (accessed on September 5, 2021)
- (8) IEC 61360-4, Common Data Dictionary, <https://cdd.iec.ch/> (accessed on September 5, 2021)
- (9) IEC 62832-1:2020, Industrial-process measurement, control and automation - Digital factory framework - Part 1: General principles, <https://webstore.iec.ch/publication/65858> (accessed on September 5, 2021)
- (10) IEC 62832-2:2020, Industrial-process measurement, control and automation - Digital factory framework - Part 2 Model elements, <https://webstore.iec.ch/publication/60214> (accessed on September 5, 2021)
- (11) IEC 62832-3:2020, Industrial-process measurement, control and