

# 일본의 차세대 그린 에너지 기술혁신 트렌드와 시사점

한국외국어대학교 이지평 특임강의교수



**KJCF**  (재)한일산업·기술협력재단  
KOREA-JAPAN COOPERATION FOUNDATION  
FOR INDUSTRY AND TECHNOLOGY

<보고서 내용 문의처>

이지평 특임강의교수(한국외국어대학교 융합일본지역학부) [jplee11111@gmail.com](mailto:jplee11111@gmail.com)

※ 본 자료는 재단 공식 의견과 다를 수 있습니다(무단 전재 및 재배포 금지).



## < 목 차 >

1. 일본의 에너지 기술혁신 전략 방향	
(1) 탄소중립화 통한 성장전략 .....	1
(2) 수소사회 전략 변화 방향과 의미 .....	5
(3) 국가적 차원의 차세대 그린기술 분야의 과학기술정책 .....	11
2. 전력 분야의 차세대 그린 에너지 기술혁신 방향 .....	13
(1) 차세대 태양광 발전 및 해상풍력 발전 .....	15
(2) 차세대 원자로 기술개발 .....	20
(3) 화력발전의 탈탄소화 .....	23
(4) 전력망의 디지털화 .....	28
3. 운수 분야의 그린 에너지 기술혁신 방향	
(1) 전기차의 기술혁신 .....	32
(2) 수소연료전지 활용 분야 개척 .....	36
(3) 바이오 연료 차세대 기술혁신 .....	40
4. 민생 분야의 그린 에너지 기술혁신 방향	
(1) 화석 연료 의존 대체 기술 방향 .....	44
(2) 절전 기술 혁신 방향 .....	48
5. 제조 분야의 그린 에너지 기술혁신 방향	
(1) 수소 제조 원가 절감 기술개발 방향 .....	55
(2) 각 산업에서의 CCUS 활용 기술개발 방향 .....	62
(3) 철강 산업의 탈탄소화 기술혁신 사례 .....	65
(4) 석유화학 산업의 탈탄소화 기술혁신 사례 .....	67
6. 시사점	
(1) 일본 사례로 본 한국의 탈탄소화를 위한 시사점 .....	76
(2) 한일 협력 유망 분야 .....	79
<참고자료> .....	81

## 1. 일본의 에너지 기술혁신 전략 방향

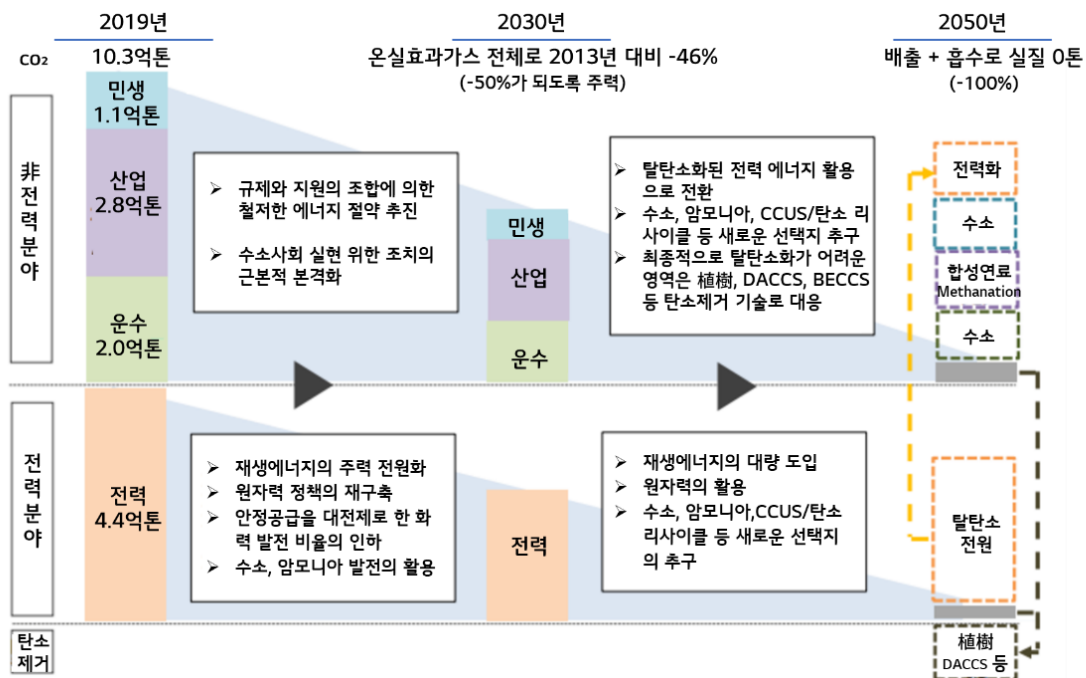
### (1) 탄소중립화 통한 성장전략

- 일본의 스가 총리는 2021년 4월 22일에 지구온난화대책추진본부(장관 참석)에서 일본의 2030년도 온실효과 가스 삭감 목표를 기존의 2013년 대비 26%에서 46%으로 상향 수정했음.
- 지난 2018년에 책정된 제5차 에너지 기본계획에서는 온실효과가스를 2013년 26% 감축하고, 2050년 80% 감축할 것을 목표로 해 왔는데, 작년 2020년에는 2050년 목표치를 100%로 상향한(2020년 10월 26일의 스가 총리 연설에서 선언) 데 이어 2021년에는 2030년 목표치도 46% 감축으로 상향한 것임.
- 2030년에 관한 새로운 목표는 에너지 기본계획과 같이 각 산업의 상황을 세부적으로 검토해서 도출된 것은 아니며, 2050년까지 탄소 제로를 위해 필요한 연간 온실효과 가스 배출 감축량을 2030년까지 연장해서 도출하는 tap다운 방식의 목표 수치라고 할 수도 있음.
- 산업 현장을 고려할 경우 2030년 목표를 달성하기는 매우 어려운 현실이라고 할 수 있으나 이러한 tap다운 방식으로 감축 목표를 설정하지 않으면 획기적인 탄소 중립화는 어려울 것이며, 이에는 국제사회의 탄소 중립화를 촉구하는 압력이 작용했다고 할 수 있음.
- 그리고 일본정부는 2030년까지의 온실효과 가스 감축 목표와 2050년 탄소 제로를 실현하기 위한 새로운 에너지 기본계획을 마련 중이며, 우선, 그린 성장 전략으로서 그 개요가 발표되고 있음.
- 그린 성장전략(일본정부 합동, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.)에 따르면 전력분야의 탄소배출량을 2019년 기준 4.4억톤에서 2050년에 제로로 하기 위해 재생에너지의 전력 비중을 50~60%, 원자력 및 탈탄소 화력발전(CCUS 활용)의 비중을 30~40%, 수소 및 암모니아 발전의 비중을

10%로 할 것을 계획

- 그리고 민생용(2019년 1.1억톤). 산업용(동 2.8억톤), 운수용(동 2억톤)의 탄소배출량을 제로로 하기 위해 석유, 석탄, 가스 등의 화석연료를 전기화(전력수요 30~40% 확대)하고 수소 활용, Methanation, 합성연료, 바이오매스 등을 활용하고 일부 화석연료에 의존하는 부분의 경우 CCUS를 활용하여 탄소 중립화를 이루겠다는 것임.

<그림1> 일본의 분야별 온실효과 가스 감축 목표



주 : CCUS(Carbon Capture Utilization Storage), DACCS(Direct Air Carbon Capture and Storage), BECCS(Bio-energy with Carbon dioxide Capture and Storage)

자료 : 일본정부 내각부, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6

- 이를 위해 경제산업성은 2020년 12월에 그린 성장전략(경제산업성, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2020.12.)을 책정해 14개 그린 성장산업 분야의 전략 방향을 제시
- 이는 6월 2일에 내각부 성장전략회의에서 방향이 조정되어 다시 제시되었음(일본정부 합동, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(案), 2021.6.).

□ 이 새로운 그린 성장전략에서 제시된 정책의 틀은 다음과 같음.

- 기업의 현금성 자산(240 조엔)을 투자로 돌리기 위한 야심 찬 목표를 설정하고 예산, 세금, 규제 및 표준화, 민간자금 유도 등의 정책 수단을 총동원함. 여기서 글로벌 시장과 세계의 ESG 투자(3,000 조엔)을 의식하고 국제 협력을 추진
- 실행 계획으로서 중점 기술 분야별로 개발·도입 단계에 따라 2050년까지의 시간 축을 가진 공정표를 작성. 기술 분야에 따라서는 단계를 뛰어 넘어 도입이 진전 될 가능성에도 유의하는 것이 필요함.
  - ① 연구 개발 단계 : 정부의 기금 + 민간의 연구 개발 투자
  - ② 실증 단계 : 민간 투자 유발을 전제로 한 민관 공동 투자
  - ③ 도입 확대 단계 : 공공 조달 규제·표준화를 통한 수요 확대 → 양산화에 의한 비용 절감
  - ④ 자립 상용 단계 : 규제 표준화를 전제로 공적 지원이 없어도 자립적으로 상용화 진행
- 2050년 탄소 중립을 고려한 기술 개발에서 현재의 설비 투자까지 기업의 요구를 커버. 규제 개혁, 표준화, 금융 시장을 통한 수요 창출과 민간 투자 확대를 통한 가격 인하에 정책의 중점을 둠.
  - 예산(높은 수준의 목표를 설정한 장기적인 기술 개발·실증에 대해서 2조 엔의 기금에서 지원)
  - 세금(흑자 기업 : 투자 촉진 세제 연구 개발 촉진 세제. 적자 기업 : 이월 결손금 인정)
  - 규제 개혁(수소 스테이션, 계통전력망 이용 규제완화, 가솔린 자동차 규제, CO<sub>2</sub> 배려 공공 조달)
  - 규격·표준화(급속 충전, 바이오 제트 연료, 해상 부유식 풍력 발전의 안전 기준)
  - 민간 자금 유도(정보 공개·평가 기준 등 금융 시장의 룰 만들기)

□ 그리고 그린 이노베이션 중점 14개 분야의 과제와 실행 계획을 제시

- ① 해상풍력·태양광·지열 산업

- 해상 풍력은 경제적 파급 효과가 기대된다는 점에서 매력적인 국내 시장을 창출함으로써 국내외 투자를 유치해 경쟁력이 강인한 공급망을 구축함. 또한 아시아 진출도 염두에 둔 차세대 기술 개발, 국제 협력에 주력하여 국제경쟁에 승리하면서 차세대 산업을 창조해 나감.
- 구체적인 도입 목표는 2030년까지 1,000만kW, 2040년까지 해상풍력 부유식도 포함해 3,000만kW ~ 4,500만kW를 구축
- 차세대 태양전지 기술 개발을 통해 2030년을 목표로 보급 단계로 이행하고 기존의 태양 전지로는 설치가 어려웠던 주택·건축물 등에서의 솔라 패널의 설치확대 실현
- 지열 발전은 기저 전원이 될 수 있는 에너지로서 기대되기 때문에, 투자자금의 활발한 공급과 함께 관계 법령의 규제를 재검토하고 기술 개발을 통해 대폭적인 도입 확대를 도모

#### ○ ② 수소 · 연료 암모니아 산업

- 수소는 발전·산업·교통 등 폭넓게 활용 될 탄소 중립화의 Key Technology임. 이를 새로운 자원으로 자리 매김하고 자동차 용도 뿐만 아니라 다양한 플레이어를 끌어 들여 2030 년에 최대 300만톤 도입하고, 2050년에 2,000만톤 정도 공급 확대를 목표로 함.
- 그리고 2050 년에 화석 연료에 대해 충분한 경쟁력을 갖는 수준으로 수소 비용을 절감함. 즉, 수소 발전 비용을 가스 화력 이하로 삭감(수소 비용 : 20엔/ Nm<sup>3</sup> 정도 이하)할 것을 목표로 함.
- 연소해도 이산화탄소를 배출하지 않는 암모니아는 석탄 화력에서의 혼합 연소 등에서 효과적인 연료로 평가되고 있음. 혼합 연소 기술을 조기에 확립하고, 동남아 등으로의 전개를 도모하는 것과 동시에, 국제적인 공급 망을 빠르게 구축함.

#### ○ ③ 자동차·배터리 산업

- 자동차 분야에서는 공급망 전체 차원에서의 탄소 중립화를 지향하고 포괄적인 지원책을 실시하고 전동화를 촉진함. 전기차, 연료전지차의 도입 촉진(급속 충전기 정비)과 더불어 배터리의 차세대 기술 개발 및 제조 입지 추진, 늦어도 2030년까지 전동차가 휘발유 자동차 수준의 경제성과 편리성을 확보하도록 함.



○ ④ 탄소 리사이클과 연계된 산업·소재

- 탄소 리사이클은 탄소를 자원으로 하여 유효 활용하는 기술이며, 탄소중립 사회의 실현에 중요한 횡단적 분야임. 일본에는 경쟁력이 있고, 비용 절감 능력이 있고, 사회적으로 보급한 기반 위에서 글로벌 전개를 지향함.
- 구체적으로는 탄소 흡수형 콘크리트는 2030년에 수요 확대를 통해 기존 콘크리트와 같은 가격(=30엔/kg)을, 2050년에는 방청(防鏽) 성능을 가진 신제품을 건축 용도로 사용 가능하게 하도록 할 것을 목표로 함.
- 수송기기용 등으로 탄소와 수소의 합성 연료에 대한 기술개발과 실증을 향후 10년간 집중적으로 실시하여 2040년까지의 자립적인 상용화를 목표로 함.
- 소재 산업은 수소를 이용한 고로 제철법 등을 세계 최초로 개발해 탄소중립 철강 제품을 세계에 공급, 2050년에 연간 최대 약 5억톤, 약40조엔으로 예상되는 그린 철강 시장을 확보함.

○ ⑤ 주택 건축물 산업·차세대 전력 관리 산업

- 주택·건축물은 민생 부문의 에너지 소비 절감에 크게 영향을 주는 분야임. 첨단 기술을 국내에 보급시키는 시장 환경을 창조하면서 해외로의 기술 전개도 예상됨.
- 구체적으로는 규제적 조치를 포함한 에너지 절약 대책의 강화에 대한 로드맵 수립 등의 노력을 구체화하고, 주택과 건축물의 에너지 소비 성능에 관한 기준이나 장기 우량 주택의 인정 기준·주택 성능 표시 제도의 재검토, 주택·건축물의 장수명화 등에 의해 에너지 절약 성능의 향상을 도모 해 나감.
- 재생에너지의 대량 도입 등에 따른 전력 계통의 혼잡을 해소하기 위해 디지털 기술을 활용해서 보다 고도의 계통 전력망 운용을 할 수 있는 차세대 송전망의 구축을 도모함. 또한 디지털 기술을 활용하여 태양광이나 풍력 등 변동성이 큰 재생에너지와 배터리 등을 조합한 전력 수급 최적화 서비스를 제공하는 사업을 촉진함.

(2) 수소사회 전략 변화 방향과 의미

- 일본정부는 지난 2017년에 세계에 앞서서 수소전략을 책정했으나 일본 및 세계 각국이 2050년 '탄소 제로'를 반드시 추진해야 할 상황이 되고 EU가 보다 의욕적인 수소전략을 추진하기 시작함으로써 일본도 새로운 수소전략을 고민하기 시작했음.

- 일본정부는 새로운 수소전략을 위해 경제산업성의 수소·연료전지전략협의회에서 민간기업의 의견도 수렴하면서 전략 방향을 모색 중이며, 금년 3월 21일에는 신수소전략과 관련한 중간보고서(經濟産業省 資源エネルギー庁, 今後の水素政策の課題と対応の方向性 中間整理(案), 新エネルギーシステム課/水素・燃料電池戦略室, 2021.3.22.)를 발표
- '탄소 제로'라는 어려운 과제의 달성과 EU 등의 새로운 동향을 고려하는 한편 기존 수소전략의 성과도 고려해서 신 수소 전략을 책정할 것으로 보임.
  
- 기존의 일본 수소전략은 자동차 분야에서의 수소연료전지차, 가정의 연료전지 급탕기 등 최종소비자 분야에서의 수소 보급에 주안점이 있었음.
- 2017년 이후의 Phase1에서는 이러한 소비자 측면에서 수소 보급에 주력하고 2020년대 후반 이후의 Phase2에서는 수소 발전이나 대규모 수소 공급 시스템을 확립하고 Phase3(2040년 경)에 종합적으로 탈탄소 그린 수소 공급 시스템을 확립(竹内 純子 国際環境経済研究所理事・主席研究員, 日本の水素戦略の展望と課題-2050年カーボンニュートラルの柱は電化・水素化)
  
- 그러나 EU의 2020년 수소전략의 경우 초기부터 화학 등 기존 제조업의 수소 연료 및 수소 원료화, 대형 버스의 수소연료전지차화, 그리고 2단계에서 철강산업, 화물차 부문으로의 수소화 확산 등에 주력
- 즉, EU는 석유화학공단, 정유소, 제철소 등의 대형 기반 산업을 신속하게 수소화하는 데 주력하면서 공단 주변에 그린 수소를 만들기 위한 초대형 전기수분해 장치를 설치하겠다는 구상인 것임.
- EU는 주력 대형 제조업의 수소화를 초기부터 추진하면서 수분해 장치 등의 양산효과와 규모의 경제성을 확보함으로써 수소 전략에서 가장 중요한 코스트 경쟁력을 초기에 확보하겠다는 것임.
  
- 이러한 EU의 수소 전략에 비해 기존의 일본의 수소전략이 산업의 수소화, 수소 가격 경쟁력의 열위라는 위험이 우려될 수 있는 상황이며, 일본도 신수소 전략에서 산업 현장에서 조기에 수소를 보급시키면서 수소 원가 경쟁력의 제고에 주력해야 할 입장이라고 할 수 있음.

- 사실, 2017년 당시와 달리 2050년 탄소 제로, 2030년 46%의 탄소 감축을 위해서는 전력을 재생에너지로 바꾸고 자동차를 전기차 및 연료전지차로 교체하는 것만으로는 부족하며, 기간산업의 탈탄소화를 위해 수소사회를 조기에 구축할 필요성이 생겼다고 할 수 있음.
- 모든 에너지를 재생에너지 전력으로 충당할 수 없으며, 중화학공업 등의 탈탄소화를 위해서는 수소 에너지의 활용이 중요해지고 있는 것임.

#### 아르셀로미탈, 제철 부문에서 선행적으로 수소 활용 공법 도입에 주력

유럽 아르셀로미탈은 최대 15억 유로 (약 2000억엔)를 투자해 독일에 있는 2개 제철소에서 수소에 철광석을 환원하는 설비를 도입하기로 했다. 온난화 가스 배출 삭감의 기간이 앞당겨지는 가운데 철강 분야의 탈탄소를 가속화시키려는 것이다.

미탈은 독일 북부 브레멘과 동부 아이젠 휘테 바겐 슈타트 제철소의 고로에서 수소로 철광석을 환원하는 직접 환원 공정을 각각 도입한다. 10억~15억 유로를 투자해 2030년까지 연간 350만 톤의 철강을 새로운 공정으로 생산할 계획이다. 충분한 양의 수소를 확보 할 수 있으면 500만톤 이상의 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)를 줄일 수 있을 것으로 보고 있다.

고로는 철광석에서 고순도 철(선철)을 꺼내기 위한 환원 반응에 코크스(석탄)가 필요하고, 그 때 많은 CO<sub>2</sub>를 배출한다. 이에 대해 석탄에 비해 이산화탄소 배출이 적은 천연 가스나 탈탄소가 가능한 수소를 사용하는 것이 직접 환원법(DRI)이다.

미탈은 우선 2021년 중에 양 제철소의 기존 고로를 가스 주입 형으로 개조한다. 처음에는 천연 가스를 사용하여 재생 에너지 유래의 '그린 수소'의 공급 망을 갖춘 시점에서 수소로 전환한다. 독일 함부르크 항구에서 물을 해상 풍력 발전의 전기로 분해하여 수소를 생산하는 프로젝트가 2025년에도 시작될 전망이며, 브레멘의 제철소는 이러한 장소에서 수소의 공급을 받게 된다.

그리고 다음 단계로 DRI 설비와 전기로로 이루어진 제철 플랜트를 각 거점에서 시작한다. DRI 공장에서는 스폰지 철이라고 부르는 순도가 높은 철강 재료를 생산하고 그것을 전기로에서 용해 성분 조정해서 강재로 가공한다.

미탈은 유럽에서 2030년까지 이산화탄소 배출량을 30% 줄이고, 2050년에는 세계에서 탄소중립(온실 가스 배출량을 실질 제로)을 실현하겠다는 목표를 내건다. 그러기 위해서는 수소 제철에만 총 5조엔 규모의 투자가 필요할 것으로 추정되고 있다.

미탈은 2020년 12월에 고객의 공급 망에서의 CO<sub>2</sub> 배출 삭감에 기여하는 '그린 인증 철강재'의 판매를 시작했다. 석탄 대신 식물성 바이오 숯을 사용하거나, 고로 가스를 회수해서 줄인 이산화탄소 삭감 효과를 일부 제품에 집약해, 제3자 기관에 의한 인증을 얻었다.

미탈은 이 그린 강재를 2022년에 서유럽에서 60만 톤 생산 · 판매 할 계획이다. 아디티야 미탈 최고경영자 (CEO)는 '다른 제품보다 마진을 확보할 수 있다'고 고객의 반응에 보람을 느끼고 있다.

(자료 : 日本經濟新聞, ミタルが「水素製鉄」へ始動 脱炭素、独設備に2000億円, 2021.6.10.)

- 이에 따라서 일본 경제산업성이 발표한 신수소 전략 중간보고서에서도 기반 산업에서의 수소 활용 전략이 초점이 되고 있음.
- 우선, 일본은 탄소 제로를 위해서는 기존의 에너지 인프라를 총동원하면서 탈탄소화에 적응해야 할 것으로 보고 기존의 에너지 인프라의 수소화에도 주력하겠다는 입장임.
- 이러한 관점에서 일본정부는 수소를 활용해서 기존의 화력발전소의 탈탄소화에도 주력하면서 해외 및 일본 내에서 수소 조달 물량의 확대에 주력
- 현재와 같이 △ 정유소 등에서 부산물로 나오는 수소의 활용과 함께 △ 가격경쟁력을 가진 해외수소의 수입 △ 에너지 안보관점에서도 중요한 자국내 재생 에너지를 활용한 그린 수소의 생산 확대 등에 주력
- 이를 위해 △ 기술적 과제의 해결 △ 관련 인프라의 구축 △ 비용 절감 등의 과제를 해결하고 양산효과를 확보하면서 수소의 사회적 보급에 주력

<표1> 일본정부의 수소 조달 목표

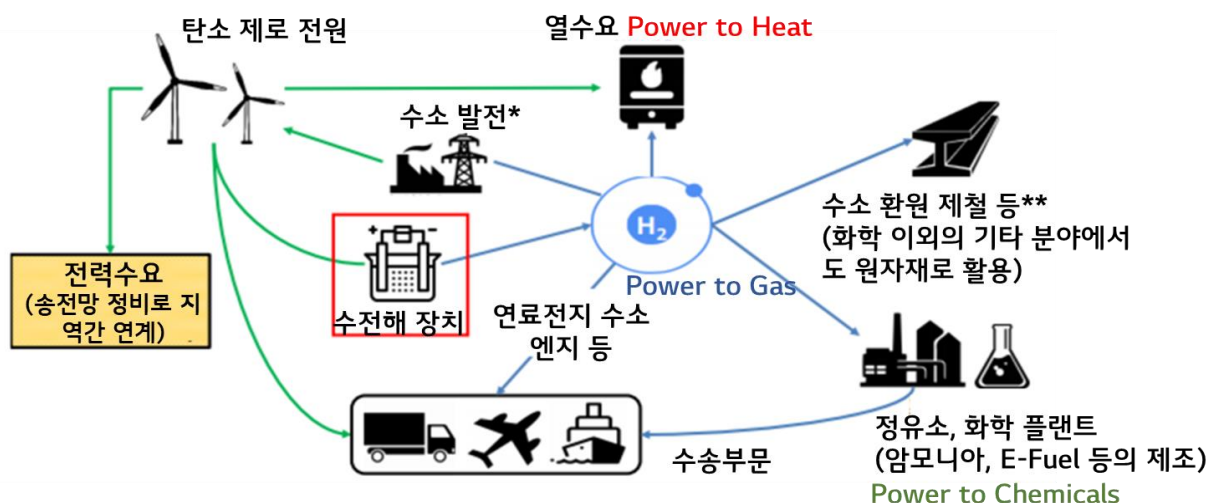
	단기 (~2025년 경)	중기(~2030년 경)	장기(~2050년)
실적 및 목표량	약 200만 톤	최대 300만 톤	2,000만 톤 정도
기존 공급원 (부산물로 생산되는 수소 등)	주요한 수소 공급원으로서 최대한 활용	수소 공급원의 탈탄소화(CCUS 활용 등)	
수입 수소	실증 및 준 상용화 등을 통해 지식과 노하우 축적, 비용 절감	산업용 기준의 대규모 국제 수소 서플라이체인의 구축	조달원 다양화, 조달선 다각화를 통해 규모 확대
새로운 일본내 공급원 (전해수소 등)	실증을 통한 지식과 노하우의 축적, 비용 절감	임여 재생에너지 등을 활용한 수전해 수소 생산 가동	전해 수소의 규모 확대, 새로운 제조 기술의 대두

자료 : 経済産業省 資源エネルギー庁, 今後の水素政策の課題と対応の方向性 中間整理(案), 新エネルギーシステム課/水素・燃料電池戦略室, 2021.3.22.

- 이를 위해서 EU처럼 태양광, 풍력 등 재생에너지의 확대와 함께 이 재생에너지의 여유 전력을 저렴하게 조달하여 수전해 장치로 수소를 생산하여 수송부문, 화학공장, 철강 공장용으로 활용

- 특히 해상풍력 발전 전력의 확대와 수전해장치의 기술혁신 통한 수소 제조원가 절감에 주력할 방침임.
- 수전해장치의 양산과 함께 차세대 기술인 인공광합성 등의 기술에 의한 수소 제조기술의 혁신 도모
- 물론, 일본 내에서의 수소 생산량의 한계도 고려해서 해외로부터 수소를 수입하는 산업 인프라의 구축과 기술 개발에도 주력
- 해외의 화석연료 및 재생에너지를 활용해서 만든 수소를 일본으로 수송하기 위한 수송기술 및 인프라에는 여러 가지 방식이 나오고 있어서 일본정부는 이를 현 시점에서 결정하지 않고 서로 경합을 유도해서 정비해 나가겠다는 방침임.

<그림2> 재생에너지와 수전해장치 활용한 수소 활용 산업구조 지향



주 : \* 수소 등을 장기로 저장하고 계절성의 조정력 등으로서 이용.

\*\* 산업용도 등으로 활용하는 경우에는 공급량을 안정적이고 충분히 확보할 필요가 있다는 점에는 유의할 필요.

자료 : 經濟産業省 資源エネルギー庁, 今後の水素政策の課題と対応の方向性 中間整理(案), 新エネルギーシステム課/水素・燃料電池戦略室, 2021.3.22.

- 액화 수소 방식 : 체적을 800의 1로 압축, -235도에서 일상적인 기압에서 가능하고 무독성 보유. 액화수송선을 새로 개발 및 생산할 필요가 있으나 일본내 액화 수소기지에서 전국으로 수송하는 것은 기존 수송망 활용 가능, 기술개발 과제는 대형 액화 플랜트 및 수송선 등의 개발 필요. 에너지 전환 과정의 에너지

지량 손실이 25~35%

- MCH(Methylcyclohexane)방식 : 수소에 톨루엔을 부가해서 운반하기 편한 MCH(수정액과 비슷함)를 만들어서 수송 후 350~400도로 가열하면서 다시 수소로 전환하는 수송 기술임. 화학운반선 등의 기존 장비 활용 가능. 에너지 손실이 35~40%로 상당히 높은 것이 과제임.
  
- 암모니아 방식 : 수소에 질소를 부가해서 암모니아로 전환하여 수송하는 방식임. 체적을 1300분의 1로 줄일 수 있고 전환 과정에서 -33도로 해야 하며, 독성이 강한 어려움 존재. 기존의 석탄화력 발전소에 암모니아를 투입해 이산화탄소 배출량의 감축 효과를 볼 수 있는 장점 존재해 일본정부가 관심을 가지고 있는 상황임. 탈 수소화 시설 투자 등이 필요하고 에너지 손실은 수소화 과정에서 7~18%, 탈 수소화 과정에서 20% 이하, 탈 수소화 과정 등의 기술개발 필요.
- Methanation 방식 : 수소에 이산화탄소를 추가해서 메탄을 만들어서 운반하는 방식이며, -162도의 조건이 필요하지만 기존의 LNG 선박, 일본 내에서 널리 보급된 가스 수송망을 활용할 수 있어서 도시가스의 대체 가능. 에너지 손실은 32% 수준임. 재생에너지의 비용이 저렴한 유망국에서 이산화탄소를 조달해서 수입하는 방안 등을 모색할 수도 있음.
  
- 이러한 수소 운반 기술과 인프라를 구축하면서 특히 수소 운반선 및 관련 장비의 개발에 주력하겠다는 입장임.
  
- 한편 수소를 활용하는 수요 측면에서의 수소 전략도 지속적으로 강화해 수소 사회의 구축에 주력
  
- 수소 발전 터빈 시장이 2050년에 최대 약 23조엔이 될 것으로 보여 세계에 앞서서 경쟁력을 확보해 일본 내수 시장과 함께 아시아 시장 등을 개척
  
- 수소 연료전지 트럭의 개발 및 상용화에 주력하는 한편 수소 스테이션 개발 및 정비 사업을 지원, 기타 수소 활용 철도, 선박, 항공기 모색

- 혁신적인 연료전지(수소와 산소로 전기와 열을 생산) 기술의 개발에도 주력, 자동차용 등에서의 백금 소재 대체 등의 원가절감 기술도 모색
- 화학 분야에서 수소로 플라스틱을 제조하는 기술의 개발 및 대규모 실증, 상용화에 주력하는 한편 수소환원 제철법의 개발, 실증, 상용화에 주력

### (3) 국가적 차원의 차세대 그린기술 분야의 과학기술정책

□ 일본의 과학기술정책은 2014년에 기존 체제를 개편하면서 발족한 내각부 산하의 '종합과학기술 이노베이션회의'가 주도하게 되었으며, 여기서도 그린 이노베이션을 촉진하기 위한 과학기술 정책이 강화되고 있음.

- 5년마다 책정되는 '과학기술기본계획'의 수립 및 추진도 종합과학기술 이노베이션회의의 주된 임무이며, 2021년 3월 26일에 각의결정된 제6차 기본계획은 '과학기술 이노베이션계획(2021~2025)'에서도 그린 이노베이션의 촉진이 강조되었음.

- 향후 5년 동안 일본정부의 과학기술정책 자금을 30조엔 투입하기로 함.

- 그린 성장 전략 분야에 관해서는 탄소 중립화를 위한 기술개발에서 사회적 응용까지 실시하는 기업을 지원하기 위해 NEDO(독립행정법인 신에너지·산업기술 총합개발기구)에 2조엔의 기금을 조성

- 탄소 중립화에 주력하는 기업의 법인세상 연구개발 투자자금 공제 금액을 기존의 25%에서 30%로 인상

- 그린 성장전략의 14개 사업(앞에서 언급)과 함께 책정 중인 에너지 기본계획의 개정에 맞게 과학기술 개발을 촉진

- 도시의 디지털화와 함께 탄소 제로 스마트시티 개발에 기여하는 연구, Moonshot형 초대형 효과가 기대되는 환경 개선 기술 개발 지원, 탄소 중립화를 위한 국제연구교류 센터 등 구축, 식량 및 농업의 지속가능성과 생산성을 동시에 높일 수 있는 연구개발 성과 추구, 환경 친화적인 제품 설계 및 리사이클링 기술, 생분해성 플라스틱 기술 개발 촉진, 삼림생태계 활용한 이산화탄소 흡수력

제고, 인프라 설비 및 건설 현장의 탈탄소화 기술 개발, 이산화탄소 흡수력이 높은 그린 이프라 기술, 지구환경 빅데이터 분석 기술, 에너지 절약·재생에너지·원자력·핵융합 기술 등의 개발에 주력, 탈탄소·순환경제·분산형 사회의 3가지 시야에서 사회적 과제를 해결하는 기술개발 노력 지원

- NEDO가 10년간 탈탄소화에 기여하는 기술의 연구개발과 상용화를 지원하기로 한 녹색기금의 경우 기업이 대상이며, 대기업과 함께 스타트업 기업도 초점이 될 것으로 보이는데, 대학이나 연구기관들도 이들 기업과의 공동연구, 연구위탁 계약 등의 형태로 참여가 가능함.
- 일본정부의 그린 산업전략의 14개 사업(앞에서 언급) 등이 기금의 지원 사업 대상이 될 수 있을 것으로 보임.
- 이미 사업 공모 정보가 나온 프로젝트는 다음과 같음.
  - 차세대 선박, 차세대 항공기, 재생에너지 전력을 활용한 수전해 장치에 의한 수소 제조, 대규모 수소 서플라이체인의 구축 등임.



## 2. 전력 분야의 차세대 그린 에너지 기술혁신 방향

- 일본의 전체 에너지 소비량은 2018년도 기준으로 3억 4,100만kl(석유환산치)이며, 이 중 전력 에너지의 비중은 26%, 비전력 부문(열, 휘발유, 도시가스 등)이 74%임.

<그림3> 분야별 이산화탄소 배출량과 탈탄소화 방향

현재			미래
운수 (2.0억톤)	차체, 시스템	내연기관, 수동운전, 금속 차체	전동화, 자율주행, Multi Material
	연료	화석연료	전기, 수소, 바이오 연료
산업 (2.8억톤)	공정	스마트화 진전	재생 전력화, 수소활용, 바이오, CCUS, 스마트화
	제품	화석 에너지 원료	非화석에너지 원료
민생 (1.1억톤)	열 에너지	석유, 가스, 전기	전기, 수소 등
	기기	고효율 기기	기기의 IoT화 M2M 제어
전력 (4.4억톤)	화력	석유, 석탄, 가스	CCUS, 수소, 암모니아
	원자력	제3세대 선진화 원자로	고속로, 소형원전, 고온가스로, 수소생산
	재생에너지	도입 제약(비용, 전력 계통 조정, 입지 제약 등)	차세대 태양전지, 해상 풍력, 축전지망

주 : ( )내는 이산화탄소 배출량임.

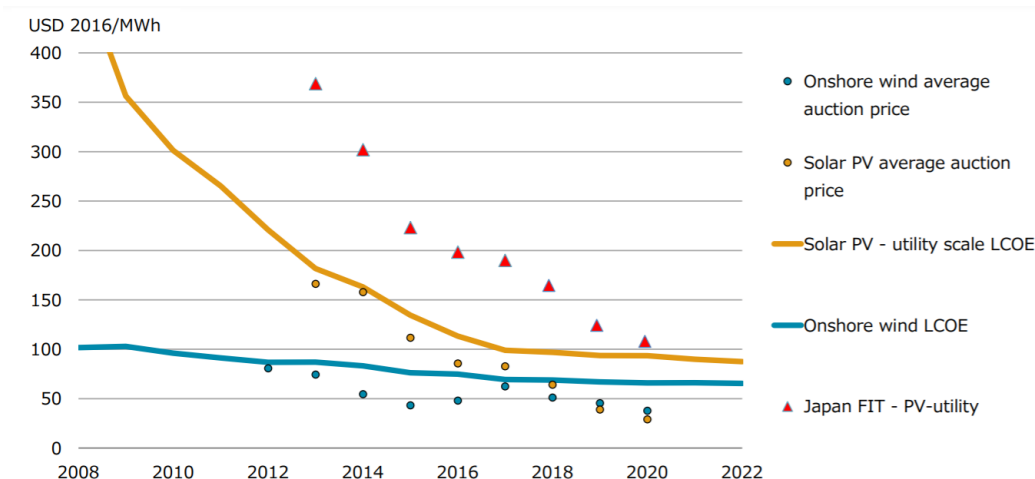
자료 : 배출량은 일본 정부합동, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.2.  
資源エネルギー庁, 脱炭素化に向けた次世代技術・イノベーションについて, 2018.2.19.

- 그러나 온실효과가스 배출량으로 보면 전력부문은 4.6억톤이며, 비전력부문은 6.1억톤(민생 1.1억톤, 산업 3억톤, 운수 2억톤)으로 전력 부문의 온실효과가스 배출량 비중은 43.4%에 달했음.
- 향후 수송 분야가 전자화 되더라도 전력 부문의 탈탄소화가 미진할 경우 그 효과는 제약을 받을 수밖에 없는 구조임.
- 탈탄소화를 위한 향후의 에너지 혁신의 방향에는 불확실성도 있지만 전기자동차의 보급 확대 등 비전력 분야의 에너지가 전력으로 바뀌는 추세이며, 어떤 시나리오의 경우도 향후 전력의 비중 확대는 불가피하며, 그만큼 전력의 탈탄소화가 필요한 상황임.

- 전력 분야의 탈탄소화는 석탄, 천연가스 등의 화석연료 전원을 태양광, 풍력 등의 신재생 에너지로 바꾸는 것으로 달성되겠지만 일본의 경우 협소한 국토에서 이들 전원을 설치하는 공간이 부족하다는 약점 존재
- 이에 따라 각국에서 태양광, 풍력발전의 비용이 급감하고 있는 것과 달리 일본에서는 이들의 비용이 상대적으로 높다는 문제점이 존재
- 미국, 중국, 유럽 등의 신재생에너지 가격과 일본의 신재생에너지 가격의 가격차가 존재하는 것은 향후의 탈탄소화 시대에 일본이 제조업의 입지 경쟁에서 더욱 취약해질 수 있다는 우려도 존재
- 이에 따라 일본정부는 재생에너지 생산비용이 낮은 해외 각국에서 재생에너지 전력을 활용해서 수분해 해서 만든 수소를 수입해서 일본에서 수소발전으로 활용하는 방안도 모색
  - 단, 이 방식으로는 해외에서 재생에너지 전력을 수소로 전환할 때의 에너지 손실, 수소로 발전할 때의 에너지 손실이라는 이중의 비용 증가 요인이 존재하는 어려움이 있음.
  - 당연히 저렴한 재생에너지 전력을 바로 활용하거나 현지에서 수소로 활용하는 것이 저렴하며, 이와 같이 에너지가 저렴한 지역이 제조업의 입지 우위성을 갖게 될 수 있음.
- 또한 기존의 화력 발전을 친환경화 하기 위한 CCS(Carbon Capture Storage)도 일본의 협소한 국토, 지진 지대로서의 안정성 불안 등을 고려하면 쉽지 않으며, 포집한 탄소를 재활용(CCUS : Carbon Capture Utilization and Storage) 하는 기술과 사업을 상용화하는 것이 과제임.
- 저탄소 전원인 원자력의 확충도 과제이지만 후쿠시마 원전 사고 이후의 일본 국민들의 반 원자력 정서, 지진다발 지대가 많다는 일본 특유의 지형으로 인해 어려움도 존재

- 결국, 일본으로서는 일본 지형에 맞는 비용 경쟁력을 가진 태양광 및 풍력 발전 기술을 개발하는 것이 중요한 과제라고도 할 수 있음.

<그림4> 세계와 일본의 재생에너지 가격차



자료 : 資源エネルギー庁, 国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論  
点案, 2020.9., IEA Renewables 2017

#### (1) 차세대 태양광 발전 및 해상풍력 발전

- 전력의 탈탄소화를 위해 일본정부는 그린 성장전략 등에서 태양광, 풍력 등의 재생에너지의 개발에 주력할 방침을 밝히고 있으며, 일본의 지형적인 한계를 극복할 수 있는 기술의 혁신이 초점이 될 것으로 보임.
- 태양광 등의 신재생 에너지가 이미 설치환경이 좋은 국가에서는 가장 저렴한 에너지원으로 부상하고 있지만 일본으로서는 이러한 가격하락 효과를 가져다 준 실리콘 베이스의 기존 기술과 달리, 페로브스카이트, GaAs 등 신기술의 개발에 주력
- 특히 페로브스카이트는 태양광 발전 시스템을 설치하기가 어려웠던 빌딩의 벽, 창문, 공장 및 창고 등 철판이 얇은 지붕 위, 자동차 등의 이동물체 등에 탑재할 수 있는 잠재력을 가졌음.

- $ABX_3$ 의 결정구조를 가진 Perovskite 재료를 활용한 태양전지는 인쇄형 제조공정의 간편함, 저렴한 재료 가격으로 실리콘을 능가하는 코스트 경쟁력이 기대, 필름 형태로의 가공 용이성, 반투명 색으로 창문 도포 가능, 20%를 넘는 발전 효율 달성 등 장점이 많아 차세대 제품으로 기대되고 있음.
- Perovskite는 수분에 약하다는 내구성 문제 해결에 A사이트, X사이트 등의 재료를 혁신, 수송층 재료의 고가격 문제도 대체 재료로 혁신하는 등 각종 과제들이 하나하나 극복하는 연구성과가 축적되면서 상용화에 대한 기대가 높아졌음.
- Perovskite는 기존 실리콘 태양전지가 1,000도의 열처리, 대규모 장비가 필요한 데 반해 roll to roll, 인쇄방식의 적용이 가능해 코스트 절감 잠재력을 가짐.

<그림5> Perovskite 태양전지의 개발 상황

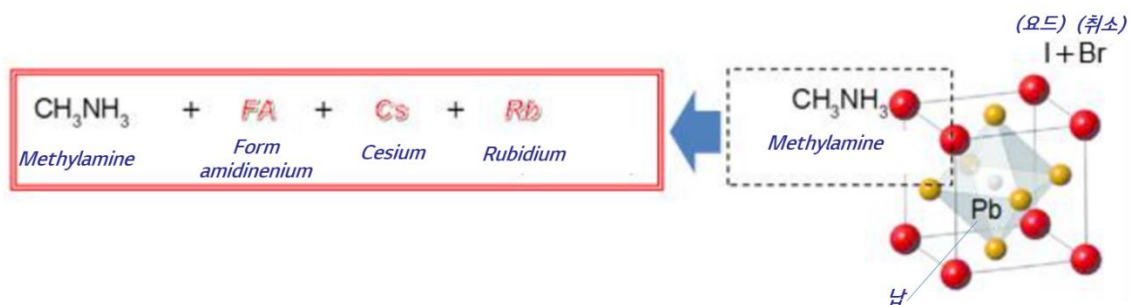


자료 : 資源エネルギー庁, 今後の再生可能エネルギー政策について, 2021.3.1.

- 각국 연구기관, 기업에서 페로브스카이트(PSC) 실용화 연구가 확대 중인 가운데 일본의 Panasonic 등이 대면적 잉크제트 생산 방식을 개발하는 등의 성과가 나오고 있음.
- 이미 기존 실리콘 베이스의 태양전지가 보급되고 산업인프라, 유통 인프라도 갖춰진 상황에서 새로운 기술규격이 시장에 침투하기 위해서는 실용화 기술이 처음부터 경쟁력을 갖추어야 하는 어려움에 대처하는 것이 과제임.

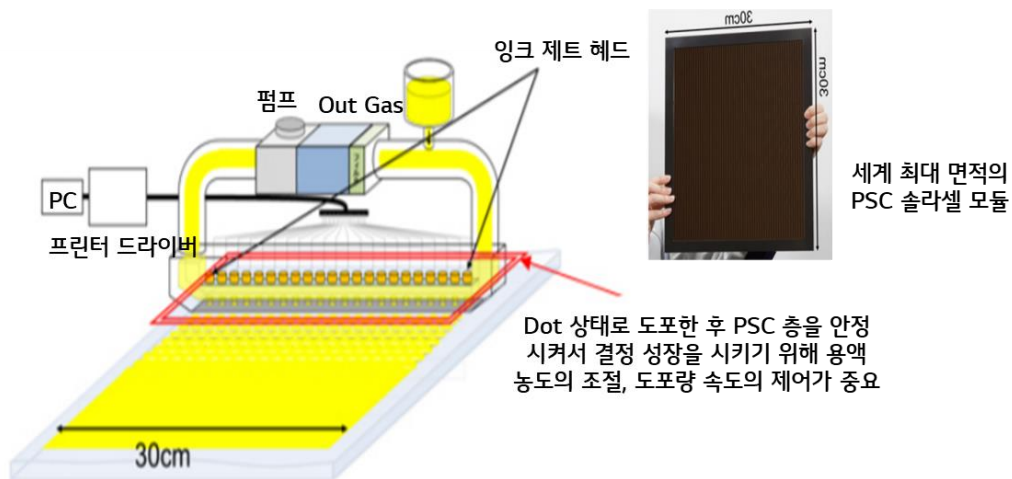
- 파나소닉은 Perovskite 결정을 구성하는 원자단 중 모듈 제작 가열 공정에서 열 안정성에 문제가 있는(가열에 의해 결정으로부터 이탈하여 결정 구조의 일부가 붕괴) 메틸아민의 일부를 분자 또는 원자를 적당히 크고, 가열 이탈 억제 효과가 있는 포름아미디늄, 세슘, 루비듐으로 대체함으로써 결정의 안정화를 도모하고, 높은 변환 효율에 기여하도록 했음.
- 이는 발전 층의 두께가 결정형 실리콘의 100분의 1 정도로 얇고 경량화가 가능하고 건물 외벽에 붙이는 등 다양한 설치 형태가 가능하고 저렴한 Perovskite는 차세대 솔라 셀로서 기대되고 있음.

<그림6> Panasonic의 Perovskite의 결정 구조



자료 : Panasonic

<그림7> Panasonic의 Perovskite Cell 잉크 제트 공법 개발

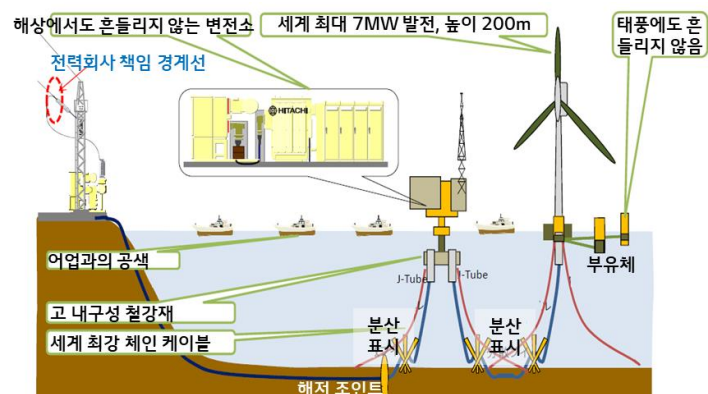


자료 : Panasonic

- 파나소닉은 2020년 1월에 30cm X 30cm, 폭 2mm의 대면적 PSC 모듈을 개발하여, 16.09%의 발전 효율 달성, 실용화에 접근
  - 파나소닉은 유리를 기판으로 하는 경량화 기술, 잉크제트 기술 등을 활용해서 도포하는 공정으로 PSC 제조에 성공
  - 동사는 대면적 및 비용절감 공법을 개발하기 위해 PSC 결정을 구성하는 원자 집단 중 모듈 제작의 가열 공정에서 열 안정성에 과제가 있는 메틸아민의 일부를 분자 혹은 원자가 적절하게 크고 가열 이탈 억제 효과가 있는 홀무아미지늄(FA), 세슘, 루비듐으로 전환함으로써 결정의 안정화, 고변환 효율화 기여
  - 잉크제트 도포법을 활용한 박막 제조 과정에서는 도포 액체 농도를 일정 범위에 조제한 후 도포 공정에서 도포량, 속도를 정밀하게 제어함으로써 대면적 모듈의 변환 효율 제고
  - 최종적으로 모듈의 생산비용을 15엔/W(실리콘계의 5분의 1수준), 발전효율 20%(실리콘 제품 최고 수준)를 목표로 하고 있음.
- Perovskite 이외의 고효율 GaAs 등 화합물 태양전지의 원가 절감 기술의 개발도 모색되고 있음.
- Idemitsu는 Perovskite와 CIGS의 복층 제품 개발, 일본산업기술종합연구소는 GaAs 화합물 셀에서 AI계 재료의 고품질 성막을 가능하게 하는 HVPE 장치 개발, GaAs 셀에서 실리콘, CIGS와 접합해서 발전 효율 35% 이상, 발전 코스트 200엔W의 태양전지 개발 모색할 방침임.
- 한편, 일본정부의 그린 이노베이션 전략에서도 강조되고 있는 것이 양상풍력 발전임.
- 일본에서는 지형상 육상풍력발전의 입지에 한계도 있어서 양상풍력 발전 기술의 혁신에 주력하겠다는 입장임.

- 한편, 일본정부는 풍력발전의 확대, 특히 해상풍력 발전 기술의 개발에 주력하겠다는 자세이며, 일본에서 매력적인 시장을 창출함으로써 국내외 투자를 유치하고 경쟁력이 있는 공급망을 구축하겠다는 전략임.
- 풍력발전은 구미 기업도 강세를 보여 일본산업의 위상이 강하지 않으나 앞으로 경쟁력을 강화하면서 아시아시장으로 진출할 수 있도록 차세대 기술 개발, 국제 협력에 주력하겠다는 입장임.
- 아시아 시장은 빠르게 성장 중이며. 2030년 세계시장 점유율이 41%(96GW)가 될 수도 있음(經濟産業省, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2020.12.).
- 그러나 풍력 발전기는 구미 기업 등이 주도하고 있는 상황이며, 일본정부는 일본에 없는 풍차의 공급 능력 확충에 주력하겠다는 입장임.
- 풍차는 부품이 수 만점에 달하는 등 소재, 부품 산업에 미칠 산업 파급 효과가 크며, 풍력발전을 통해 일본 내 부품 공급 산업이 될 수 있는 발전기, 증속기, 베어링, 블레이드용 탄소 섬유, 영구 자석 등의 잠재력을 활용하는 데 주력

<그림8> 후쿠시마 해상 부유식 풍력발전의 구조



자료 : 일본 경제산업성

- 일본의 경우 유럽, 미국, 중국 등과 달리 육상 풍력 발전의 입지 조건이 좋지 않고 유럽과 달리 수심이 낮고 해상 풍력에 유리한 입지 조건도 많지 않기 때문에 해상 풍력을 강화하면서 부유식 풍력 발전 시스템의 개발에 주력하겠다는 입장임.

- 일본의 소재 및 부품 산업의 풍력 발전 사업 경쟁력 강화, 공급 여건 개선에 주력하면서 2030년 정도까지 부유식 풍력 발전 기술을 개발해 점차 풍력 발전 역량을 확충에 주력할 전략임.
- 그러나 일본정부가 주력해 왔던 후쿠시마현 앞바다에서 부유식 풍력발전을 설치하는 실증사업은 일정한 성과를 거두면서도 상업성 실증에는 어려움을 보인 것으로 나타나고 있음.
  - 일본정부는 후쿠시마 현 앞바다에 설치한 부유식 해상풍력 발전 시설을 2021년도에 모두 철거하기로 결정
  - 약 600 억엔을 투자 실증 연구를 사업은 채산성을 확보할 수 있을 것으로 전망되지 않았음. 일본정부는 실제 시스템의 운영, 각종 기상 환경 데이터의 수집이라는 측면에서의 성과는 강조
  - 부유식 풍력 발전의 상업성 확보를 위한 연구개발이 지속될 것으로 보임.

## (2) 차세대 원자로 기술개발

- 원자력은 실용 단계에 있는 탈탄소 전력의 중요한 요소 중의 하나로 지목, 안전성을 중시하면서 기존 원전의 재가동에 주력하면서 각국과의 협력도 모색해 다양한 원자력 기술의 혁신에 주력(2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.)
- 원자력은 탈탄소 에너지이며, 에너지 자급률 향상에도 기여하는 에너지로서의 장점을 평가
- 안전성 · 신뢰성 · 효율성을 더욱 향상하면서 방사성 폐기물의 감축, 연료 자원의 유효 이용에 의한 자원 순환성 향상을 달성해 나감.
- 또한 신재생 에너지와의 공존, 탈탄소형 수소 제조 및 열 이용 등 다양한 사회적 요청에 부응 할 수 있는 원자력 기술의 개발에도 주력



- 현재 중국 및 러시아가 세계시장을 석권하고 있는 어려운 상황이며, 일본으로서는 미국 등 선진국과 협력하면서 차세대 원자력 기술의 개발 프로젝트를 강화
  - ① 국제 협력을 활용한 고속로 개발의 착실한 추진 ② 2030년까지 국제 제후에 의한 소형 모듈 원자로 기술의 실증 ③ 2030년까지 고온 가스로에 있어서 수소 제조를 위한 요소 기술 확립 ④ ITER(국제열핵융합실험로) 계획 등의 국제 연계를 통한 핵융합 연구 개발의 착실한 추진 등을 목표로 함.
- ①의 고속로에 관해서는 프랑스, 미국 등과의 국제 협력을 활용하면서 고속로 개발을 추진
  - 프랑스와는 2020년부터 새로운 일반 협정에 따라 안전성·경제성 향상에 관한 기술 개발을 실시하고 있으며, 예를 들어, 자연 순환에 의한 냉각 시스템 및 온도 상승에 따라 자동으로 제어봉이 삽입되는 기구 등의 혁신적인 기술을 공동 개발
  - 미국과는 2019 년에 고속로 시험로인 다목적 시험로(VTR)의 개발 협력에 대한 양해 각서를 체결했으며, 이에 따른 협력을 추진
- ②의 소형 원자로(SMR)에 관해서는 2020년대 말의 운전 개시를 목표로 미국과 영국, 캐나다 등의 해외 시범 사업과 연계한 일본 기업의 활동을 지원함.
  - 해외에서 선행하는 규제 수립을 바탕으로 기술 개발 및 실증에 참가함. SMR에서 채용되고 있는 혁신 기술의 기술 개발 과제의 극복을 위한 국제협력을 실시하는 동시에, 뛰어난 설계 및 제조 기술을 가지고 있는 탈탄소 기술인 SMR의 실현에 공헌함.
  - SMR의 설계·제조 기술을 강화하는 동시에 주요 공급 업체로서의 지위를 획득하고 SMR의 글로벌 전개에 맞춘 양산 체제를 확립해 나감.
  - 또한, SMR은 냉각재와 출력에 따라서 경수로와 고속로, 고온 가스로, 용융염로, Micro Reactor 등 다양한 노형이 존재하는데, 기술 중년 정도 등에 따라 민간의 기반 기술 개발을 지원해 나감.

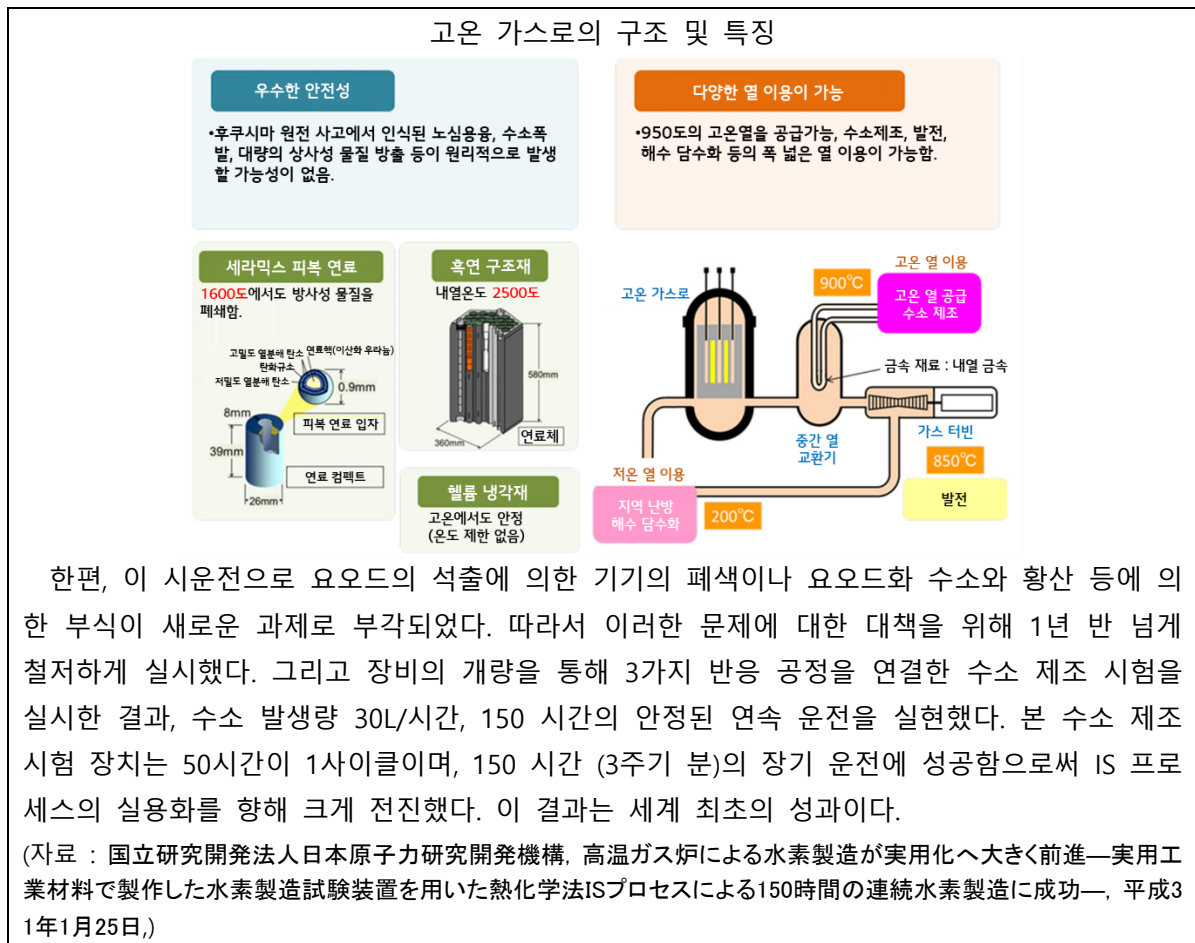
- ③의 고온 가스로는 관해서는 고온공학시험연구로(HTTR)에서 950℃(세계 최고 수준)로 50일 동안의 고온 연속 운전을 달성한 성과를 활용하면서 수소 제조를 포함해서 세계 선도 기술의 개발에 주력
- 일본기업이 이미 수소 제조·발전 열병합 플랜트에서 축열 가능한 발전용 고온 가스 등을 개발 중임.
- 세계 최고 온도를 기록한 시험로인 HTTR을 활용하여 2030년까지 대량생산이 가능하고 저렴한 카본 프리 수소의 제조에 필요한 기술 개발을 지원
- 이와 병행하여 IS법이나 메탄 열분해법 등을 포함한 초고온 열을 활용 한 카본 프리 수소 제조 기술의 개발을 지원함.
- ④의 핵융합에 관해서는 장기적 관점에서 연구개발에 주력하는 한편 관련 기술인 리튬정제기술, 저온 및 저탄소 금속정제 기술의 실증 등에 주력

#### **일본원자력연구개발기구의 고온공학시험연구로(HTTR) IS 프로세스**

일본원자력연구개발기구는 2019년에 오아라이 연구소에서 고온가스로의 열을 이용하는 열화학법 IS 프로세스에 의해 물에서 수소를 제조하는 데에 성공했다. 이 기술은 950 ℃의 고온의 열을 공급할 수 있는 고온 가스로와 결합되는 형태로 수소를 고효율·저비용으로 생산하는 시스템을 구축하는 것이다. 원자력을 전기로 전환하지 않고 열을 활용해서 바로 수소를 생산하기 때문에 효율 제고, 비용 절감이 가능하다.

개발된 열화학법 IS 프로세스는 요오드(I)와 황(S)을 이용한 3가지의 화학 반응을 조합하여 물을 분해하여 수소를 제조하는 화학 프로세스이며, 3개 반응 공정(황산 분해 공정, 분젠 반응 공정, 요오드화 수소(HI) 분해 공정)으로 구성된다.

IS 프로세스는 부식성이 있는 유체를 사용하기 때문에 실용화를 위해 3가지 반응 공정 별로 다른 환경에 견딜 수 있는 산업용 재료(금속, 세라믹 등)를 이용하여 반응기를 개발했다. 또한 이러한 반응기를 3가지 반응 공정에 각각 사용되는 세계 최첨단의 수소 제조 시험 장치를 제작했다. 2016년 2월에 이 장치를 이용하여 3가지 반응 공정을 연결 한 수소 제조의 시운전(약 10L/ 시간, 8시간)에 성공하여 실용화를 위한 연구 개발이 크게 발전했다.

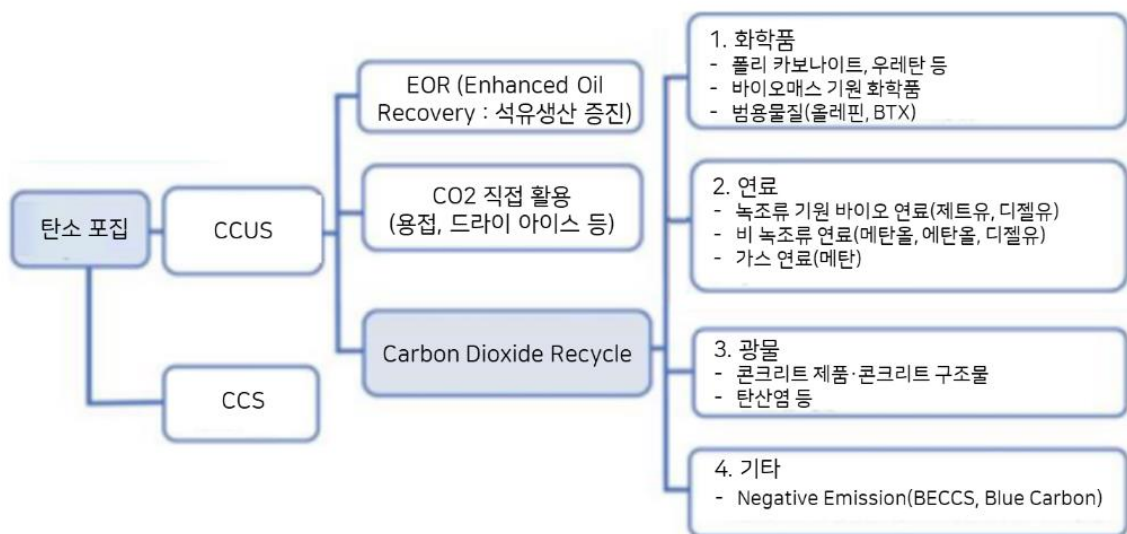


### (3) 화력발전의 탈탄소화

- 석탄 등의 화력 발전은 탈탄소화를 위해 폐기되는 방향에 있고 일본정부도 노후 화력발전소의 폐기 정책을 모색하고 있으나 2050년까지 탄소 제로를 달성하기 위해서는 기존의 전력 인프라를 활용할 필요성도 존재
- 이에 따라 CCUS, 수소발전 등의 기술을 통해 기존 화력발전소의 탈탄소화도 중요한 과제가 되고 있음.
- 일본은 화력발전소에서 고농도의 이산화탄소의 분리 회수 설비를 생산하고 있는 상황이며, 일본기업이 회수 플랜트 공급에서 세계 유수의 실적을 기록, 관련 특허도 다수 보유

- 여러 가지 농도나 특성을 가진 이산화탄소 배출 원에서 낮은 비용으로 탄소를 회수하는 기술의 개발이 지속적인 과제임.
  - 이를 통해 일본정부는 저비용의 이산화탄소 분리 및 회수 기술을 개발하여 석탄화력 발전소 등의 탈탄소화에 주력할 방침임.
  - 이산화탄소 분리 회수 기술의 개발과 표준평가기술을 확립한 후 자국 시장뿐만 아니라 국제표준을 주도하여 2050년에는 이산화탄소 분리 회수 세계 시장의 30%(약 25억 CO<sub>2</sub>ton, 3조엔)를 확보할 전략임.
  - 이를 위해 일본정부, 일본기업도 포집한 탄소를 기존 유전에 주입해서 산유량을 확대하는 기존 방법 이외에 석유화학, 콘크리트 제조 등에 효과적으로 활용할 수 있는 기술의 개발에도 주력 중임.
  - 포집한 탄소를 재활용하지 않고 지중에 저장하는 CCS의 경우 지진이 많고 산악 지대가 많은 협소한 일본의 국토 구조상 어려움이 있고 해외에서의 사업을 모색
- 이와 관련하여 경제산업성은 지난 2001년 6월 22일에 아시아 CCUS 네트워크를 설립하기로 했으며, 이에는 ASEAN 10개국과 미·일·호주가 참가함(日本經濟新聞, CO<sub>2</sub>地下貯留で100社超協力 日米豪など連携、アジアで商用化へ, 2021.6. 22.)

<그림9> 커본 리사이클 사업 분야 분류 개념

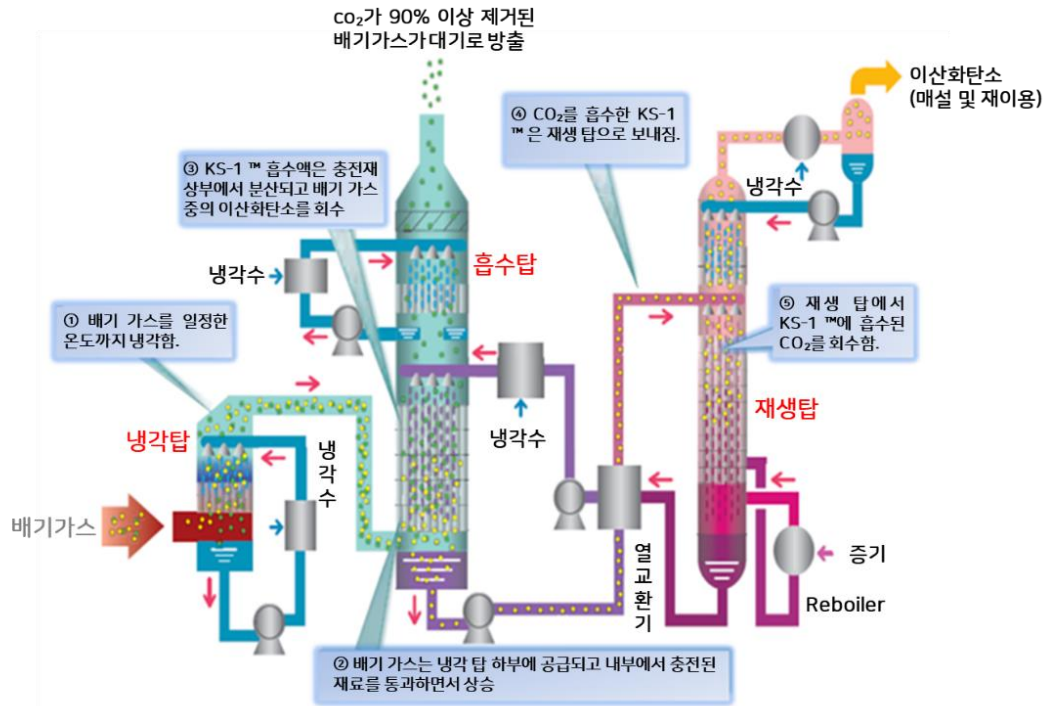


주 : CCUS(Carbon Dioxide Capture, Utilization and Storage), CCS(Carbon Dioxide Capture and Storage), BECCS(Bio-energy with Carbon dioxide Capture and Storage : 바이오 연료 활용은 이산화탄소 배출과 흡수 원래 균형, 실질배출 제로이지만 배출될 CO2를 포집 할 경우 CO2 배출이 마이너스가 됨), Blue Carbon(해조류 등 해양생태계에 의해 흡수되는 탄소), EOR는 유전에 CO2 주입해 생산량을 확대 시킴.

자료 : 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 二酸化炭素資源化に関する調査報告 2019, 2020.4

- 이산화탄소를 지하에 저장하는 기술을 상용화하여 INPEX(舊 国際石油開発帝石)와 미쓰이물산, 스미토모상사 등 자원·에너지 관련 100개 이상의 기업·단체가 미일 호주 및 아시아 각국과 협력함.
- 아시아에는 저장 능력이 100억 톤 이상 가진 것으로 보이는 여러 국가가 있으나 높은 비용이 과제이며, 각국 정부가 협력하면서 실증 사업을 거듭하여 원가 절감과 보급에 주력할 전략임.
- 구체적으로는 이산화탄소를 액화 하여 선박에서 해상 운송하고 가스전 근처의 지하에 매설하는 사업 등을 민관 합동으로 추진해 나감.
- 일본은 인도네시아 가스전에 파이프라인을 설치하고, 약 4Km 지하에 이산화탄소를 매설하는 실증사업을 민관합동으로 준비 중임. 빠르면 2024년도에 매설을 시작할 것을 목표로 하고 있으며, 연간 30만 톤의 이산화탄소를 감축 할 예정
- 이산화탄소의 해상 운송을 위해 2021 년도 이후에 선박 건조를 시작, 24년에 운반 개시할 것을 목표로 함. 파이프라인보다는 장거리에 이산화탄소를 운반할 수 있는 해상운송 네트워크를 구축하여 아시아 각국을 연결하겠다는 전략임.
- 화력발전소 등에서 이산화탄소를 포집하는 기술로서는 △ 이산화탄소와 결합하기 쉬운 화학물질을 활용해서 분리한 후 가열 및 감압해서 이산화탄소를 회수하는 화학적 흡수법 △ 활성탄 등의 다공질(多孔質) 재료를 활용하는 고체흡수법 △ 이온교환막 등을 이용해서 공기중에서 이산화탄소를 분리하는 분리막법 등이 있음.

<그림10> 미쓰비시중공업의 CO<sub>2</sub>회수 플랜트의 구조



자료 : 미쓰비시중공업

- 일본정부는 이들 기술에서 일본이 강점을 가질 수 있을 것으로 보고 NEDO 등에서 산학관 연구에 주력 중임.
- NEDO 프로젝트에는 화학흡수법에서 일본제철 그룹, 고체흡수법에서 카와사키 제철, 막 분리법에서 전원개발사(電源開発株式会社若松研究所) 등이 실적을 거두고 있음.
- 또한 미쓰비시중공업은 플랜트 기술을 활용해서 화력발전소와 함께 상업시설의 이산화탄소 회수 사업을 구체적으로 상업화 하고 있음.
- 동사는 간사이전력(주)와 공동으로 이산화탄소 회수 기술(KM CDR Process ™)을 개발하고 상용화했으며, 이는 독자 개발한 아민 흡수 액체인 KS-1 ™를 이용하여 이산화탄소를 흡수하는 화학적 흡수법을 채택하고 있으며, 이 기술을 활용한 플랜트는 2019년 2월에 전 세계에 13 곳을 넘었음.

- CO<sub>2</sub>를 포함하는 배기가스는 배기가스 냉각탑에서 식힌 후, 흡수 탑에서 알칼리성 KS-1<sup>™</sup> 흡수액과 접촉하고 배기가스 중의 CO<sub>2</sub>가 흡수됨. CO<sub>2</sub>를 많이 포함한 흡수 액은 재생 탑으로 보내져 증기에 의해 가열하여 CO<sub>2</sub>를 방출하고 재생됨. 재생된 흡수액은 흡수 탑에서 재사용됨.
  - 이 이산화탄소 흡수 공정의 특징은 대상인 가스에 포함되는 CO<sub>2</sub>를 90 % 이상 회수할 수 있다는 것이며, 또한 자신의 에너지 재생 시스템에 의해 증기 소비량의 저감을 실현
- 한편, 수소발전에 관해서는 터빈을 이용한 대규모 수소 발전을 탄소 중립 시대의 전원 옵션 중 하나로 규정해 이를 활용한 전력 시장의 조정력 통해 전력 계통망의 안정화에도 기여할 수 있다는 판단임.
- 일본 기업은 가연성 수소의 연소를 수소 터빈에서 제어하는 기술 개발에서 선행하고 있다고 보고 외국 기업에 대해 경쟁 우위를 가지고 수출산업화도 모색. 이를 위해 아직 완료되지 않는 안전 연소 성능의 향상과 검증에 주력
  - 일본 국내 수소 수요(일정한 가정을 둔 도입량)의 잠재력은 약 500 ~ 1,000만톤 /년 정도로 일본정부는 추정
- 수소 발전 터빈의 세계시장은 2050년까지 누적 설치 용량 기준으로 최대 약 3 억kW(약 23조엔)로 예상, 이 세계시장을 확보하기 위해 우선 초기개발 단계인 장비의 실증을 지원하고 일본 시장에서의 상용화를 가속함.
- 또한 탈탄소 에너지인 수소 발전 전력을 활용할 경우 인센티브를 받을 수 있도록 전력 시장을 정비함.

### <그림11> 카와사키중공업의 수소 열병합 발전 시스템과 터빈



신에너지산업기술종합개발기구(NEDO) 지원 사업인 '수소 CGS 활용 스마트 커뮤니티 기술 개발 사업'에서 카와사키중공업은 수소만의 연소/수소와 가스 혼합 연소 겸용 가스 터빈의 개발을 중심으로 한 수소 열병합 발전 시스템을 담당. 2018년 4월 19일과 20 일에 실시한 실증 시험에서 유량 약 2,200Nm<sup>3</sup>/h의 수소만을 연료로 활용하여 인근 2개 시설에 2,800kW의 열(증기)과 4개 시설에 1,100kW의 전력을 동시에 공급. 세계최초로 시가지에서 수소 가스 전문 가스 터빈으로 열전 동시에 공급하는 데 성공

자료 : 川崎重工技報・182号 2020年9月

#### (4) 전력망의 디지털화

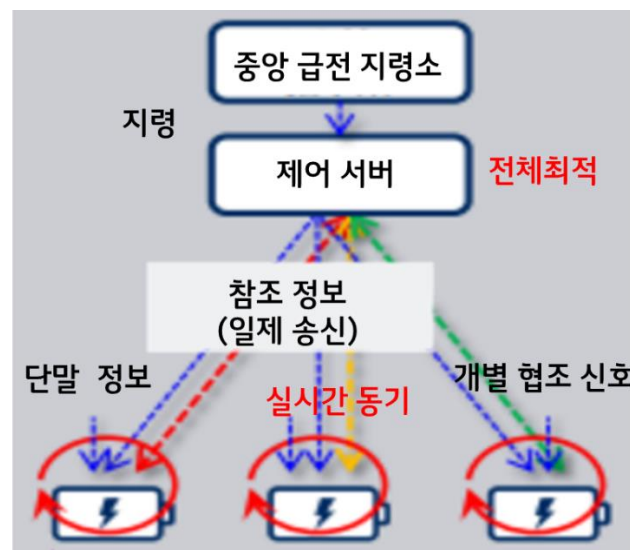
- 재생에너지 등 분산 전력의 비중 확대는 기존의 계통전력망을 기본으로 했던 시스템을 불안정하게 하는 측면도 있으며, 이에 따라 일본정부는 분산 전력의 확대에 따라서 각 부분에 축전지(ESS)를 활용해 전력 흐름의 안정화를 도모하려는 방향임.
- ESS를 새로운 에너지 기반으로 인식하여 가정용 태양광 발전과 연계된 가정용 ESS의 경제성 확보에 주력해 시스템 가격을 7만엔/kWh 이하(공사비 포함), 공장 및 업무용 ESS시스템 가격을 6만엔/kWh(공사비 포함)을 지향해 관련 기술의 개발에 주력함(일본정부 합동, 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.).
- 가정용, 업무 및 산업용 ESS 합계로 2030년까지의 누적 도입량을 약 24GWh(2019년 누적도입량의 약 10배)로 확대 도모
- 이와 함께 배터리의 성능 향상을 위해 전고체 리튬이온전지를 빠른 시일에 실용화하고 2035년경에 혁신형 배터리(불화물 전지, 아연 음극 배터리, 다가-多價-이온 배터리) 등의 실용화에 주력



- 이와 함께 일본정부는 축전지를 활용해 전력을 공급하는 사업자를 촉진하기 위해 송전선 활용 요금을 인하해 사업자의 수익성을 높이는 정책을 추진
- 또한 ESS의 안전성을 확보하기 위해서는 축전지의 상태 감시 서비스가 필수이며, 이를 위해서는 △ 실시간 계측 기술 △ 내부 작동 원리에 기초한 상태 추정 기술 및 서비스 체제가 필요함.
- ESS에 센서를 탑재하여 IoT 기기로서 진화 시키면서 AI 활용한 분석을 통해 효율적 관리, 위험 요인 평가해 사고 나기 이전에 대응
- ESS의 품질 관리와 인프라 활용을 위한 원격 감시 및 관리 기술의 개발 강화
- 그리고 감시를 통해 수집한 데이터에서 상태를 분석하는 정확성 제고
  - 배터리의 잔량, 화재 등 문제 발생 징후를 파악하기 위한 센서의 성능향상이 필수 과제, TDK는 TMR(터널 자기 저항 효과) 전류 센서를 개발, 소형화에 한계가 있던 기존 방식과 달리 코일, 자기 검출부, 집적회로를 하나로 패키징, 오차 1% 미만의 감도 실현
  - 파나소닉은 전동 모빌리티의 상태를 실시간 모니터링 하는 서비스를 2020년에 개시, 클라우드에 수집한 데이터를 활용해 학습해서 상태를 추정하는 기술을 개발, 배터리의 정확한 잔량을 고객 스마트폰에 전달, 지도 정보와 연계해서 고객의 도달 가능 지점, 적절한 충전 지점 등을 표시함.
- NEC는 그리드 차원의 관리 고도화에도 주력
  - NEC는 분산된 1만대의 ESS를 가상통합제어 소프트웨어로 연결 하여 각 ESS의 여유 능력을 효율적으로 배분(계층협조 제어 방식 : 실시간 동기 제어)하는 실험에 성공(간사이전력과 공동)
  - ESS의 제어를 2계층의 제어망으로 구성하고 수많은 ESS를 실시간으로 동기 제어 하면서 전체 최적화 달성
  - 중앙집중 제어를 수많은 분산 ESS의 제어에 맡기는 데에는 한계가 존재, 각 단말 차원의 분산 제어로는 전체 최적화에 한계가 있는 것임.

- 이에 따라 NEC는 간사이전력과 함께 1만대의 ESS를 동시 제어 실험 성공('19년), 가상통합제어 소프트웨어를 활용
- 제어 서버에서의 개별 협조 신호에 의해 전체 최적화를 도모하면서 단말기 정보나 참조 정보의 이용으로 각 ESS를 실시간으로 동기 제어 함. 개별 협조 신호의 제어 주기(10 수분) 내에서의 전체 최적화가 가능하도록 하기 때문에 대규모 대수 제어가 가능함.

<그림12> NEC의 2계층 협조 ESS 제어 방식



자료 : NEC

#### ○ 원격 보수 관리 지원

- 배터리의 각종 파괴 요인을 셀, 모듈, 시스템 차원에서 분석 및 평가하는 시뮬레이션 강화, 특히 대형 ESS용에서는 전체 전력 시스템 차원에서의 분석 기법도 제고(계통전력망, 발전소 각종 장치, 셀 및 모듈을 다중 복합적으로 파악 및 상태 가시화)
- 운전상황 가시화, 안전성 평가, 셀 구성의 불균형 평가, 로직 검증, 효율 평가, 파괴 부분 및 시기 예측, 핀 포인트로 취약 부분 부하 감측 및 교체
- 도시샤대학은 대당 1천엔 정도의 진단용 칩을 BMS에 탑재하여 가동 중에 연속적으로 Impedance를 측정 및 진단하는 기술 개발
- Nichicon은 가정용 ESS에서 리모컨과 자사 서버를 연결해 고객 ESS 상태를 24시간 분석, S/W의 업데이트, 전력회사의 출력 억제 방침 등에 자동 대응 서비스 가능

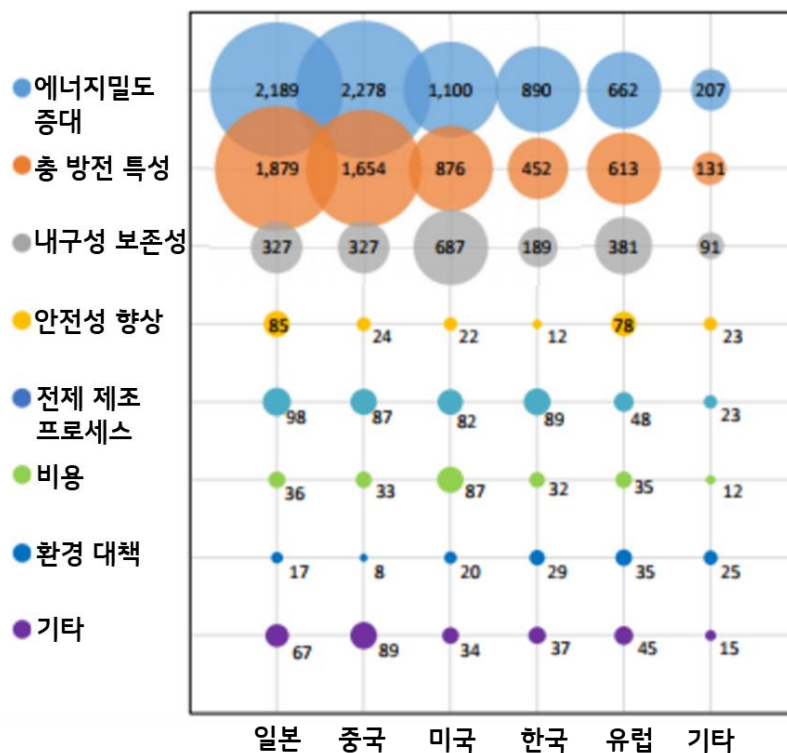
- 또한 경제산업성은 해상풍력발전을 위한 해저 송전망을 정비하는 정책을 모색 중임.
- 해상풍력 발전은 전력 소비지와 전력 생산지 사이의 거리가 길다는 난점이 있으며, 해저 전력망의 구축을 평행
  - 긴 거리 송전을 위해 직류 송전 시스템을 모색, 직류 송전망의 경우 사고가 발생할 경우 전체 전력망이 다운되기가 쉽기 때문에 직류 차단기 개발에도 주력할 것으로 보임.
  - 대용량 고전압에 대응한 직류 차단기의 개발에는 어려움이 있으나 유럽에서 해상풍력 발전을 뒷받침해 왔던 세계 유수의 송배전 관련 기업인 ABB의 송배전 사업 부문을 인수한 히타치ABB 파워그리드사 등이 고전압직류송전(HVDC) 기술을 바탕으로 관련 시스템의 공급을 본격화 할 수 있을 것으로 보임.
  - 히타치ABB는 다단자 HVDC + 풍력발전 + 해저 케이블로 구성된 송배전 시스템을 2020년에 영국 Shetland에서 건설 착공(일부 상업운전 중)
- 해저 전력망은 육상 전력망에 비해 부지 확보나 주민 반발 대처 등의 어려움이 없어서 빠른 건설이 가능할 것으로 기대되고 있으며, 해상풍력 뿐만 아니라 일본의 지역별로 전력 유통이 어려운 전력망의 지역적 분단성을 완화할 수 있는 수단도 될 것으로 기대되고 있음.

### 3. 운수 분야의 차세대 그린 에너지 기술혁신 방향

#### (1) 전기차의 기술혁신

- 수송 분야의 탈탄소화에 있어서는 자동차의 전동화가 큰 흐름이 되면서 일본 정부도 연비규제, 공공조달, 충전인프라 확충, 구매 인센티브 등의 정책을 추진
- 이와 함께 전기차의 성능 향상과 가격 절감 등의 효과를 지속적으로 추구하기 위해 최대의 기술적인 과제인 배터리의 성능 향상, 이를 위한 차세대 배터리 기술의 개발에 주력

<그림13> 전고체전지의 국가별 특허 수



자료 : NEDO, 先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期), 2020

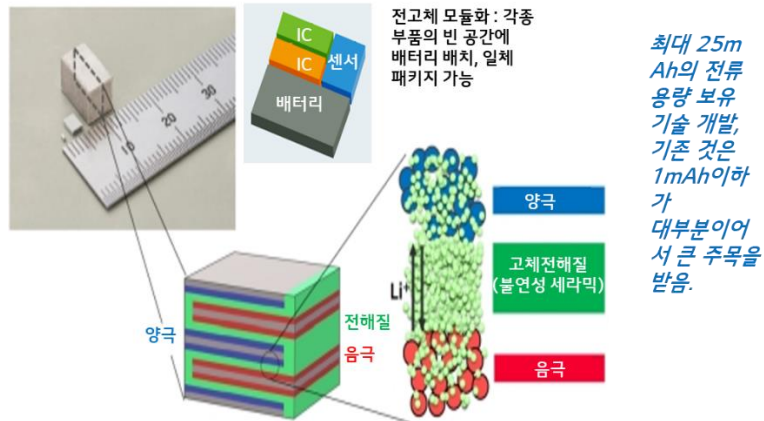
- 기존의 액체 분리 막을 활용한 리튬이온전지를 고체 분리 막으로 바꾸는 전고체전지 등의 차세대 기술과 함께 리튬 소재의 대체를 포함한 혁신전지의 개발도 모색

- 특히 전기차 시장 진출이 지연된 도요타자동차는 차세대 전고체전지 개발에 주력 중이며, 이를 통해 전기차 시장에서의 판도를 혁신하기 위해 일본의 산과학 연구에도 주력 중임.
- 도요타는 전고체전지가 나와야 EV가 가능하다는 입장을 견지해 왔던 정도이며, EV와 수소차를 2025년까지 100만대씩 판매하겠다고 공표
- 전고체전지는 양극과 음극 사이에서 고체형태의 전해질을 사용하기 때문에 발화 리스크가 적을 것으로 기대되고 있으며, 적층화도 용이하기 때문에 종량당 에너지 밀도를 높여 EV의 주행거리를 높일 수 있을 것으로 기대되고 있음.
- 2001년에서 2018년간의 전고체전지 관련 특허 9,500건 중 일본은 37%의 점유율을 차지하고 있으며, 이는 중국 28%, 미국 16%, 한국 9%, 유럽 7%를 크게 상회, 특히 도요타자동차는 753건으로 세계에서 가장 많은 특허를 보유한 기업임.
- 다만, 전해질이 고체이기 때문에 전도성이 떨어져 기대되는 성능이 나오지 않을 수 있기 때문에 전도성이 높은 고체 전해질의 개발이 과제가 되고 있음.
- 또한 전고체전지는 양산기술이 개선되고 있는 리튬이온전지에 비해 4배 정도 고가격이며, NEDO와 도요타자동차의 프로젝트의 경우도 2030년 정도가 되어야 리튬이온전지와 비슷한 비용경쟁력(1만엔/1kwh)을 확보할 것을 목표로 하고 있는 등 2020년대 중의 해결에 어려움도 존재(일본경제신문, 車用「全固体電池」、迫る日独決戦 トヨタは特許で先行, 2021年6月3日)
- 물론 전고체전지에 주력 중인 도요타는 기초연구 수준에서 전해질의 개발 등 성과가 가시화되고 있고 있으며, 2021년 중에 시제품을 공개할 가능성이 있는 것으로 보도되고 있음.
- 2011년에 만든 LGPS(리튬, 게르마늄, 린, 유황) 소재를 기초로 2016년에 게르마늄 대신 실리콘을 쓰고 염소를 추가한  $\text{Li}_{9.54}\text{Si}_{1.74}\text{P}_{1.44}\text{S}_{11.7}\text{Cl}_{0.3}$ 를 개발, 이것이 기존 LiB 대비 3배의 전류, -30~100도에서 가동이라는 성능을 달성
- 전해질의 가루를 액체, 바인더와 혼합한 습식 코팅 기술도 개발했으나 양산에는 시간이 소요될 것으로 예상되고 있음.

- 다만, 특허 상황으로 보면 비용절감 등의 양산 준비는 세계적으로 아직 초기 단계에 있는 것으로 보이며, 기존의 리튬이온전지가 대량보급 되고 양산효과를 확대하고 있는 상황에서 전고체전지가 보급되기 위해서는 가격 및 성능 조건을 충족하는 데에 시간이 소요될 전망이며, 본격적인 보급은 2030년 이후가 될 가능성도 존재
- 히타치 조선은 독자적인 박막 성막 가압 성형 기술로 재료 입자 사이의 이온 전도성을 향상시킴으로써 기계적 가압 없이도 충·방전이 가능한 황화물계 고체 전지의 개발에 성공했다고 발표(NEDO, 先進・革新蓄電池材料評価技術開発 第2期, 2020)
- 실온에서의 충 방전 사이클 시험에서 400 사이클 후 용량 유지율은 96% 달성
- 10cm 크기의 셀을 시작으로 외부 기관의 평가도 진행 중이며 먼저 우주 용도로 제품화 한 후 자동차 탑재 배터리로의 제품화 할 계획임.
- 맥셀은 2019년 9월, 황화물계 전해질을 사용한 용량 8mAh, 직경 9mm의 코인 전체 고체전지의 샘플 출하를 개시했음.
- 이데미쓰고산은 황화물계 고체 전해질의 상업 생산을 위한 실증 시설을 새로 건설하고 2021년도 첫 분기 가동 예정이라고 발표했음.
- 전자 기기용으로 수~ 수10mAh 수준의 매우 소용량·소형 전고체전지에 관해서는 무라타, TDK, 일본가이시 등 많은 일본기업들이 샘플 출하를 할 단계에 들어가 있음.
- 무라타제작소의 경우 산화물 세라믹재료로 만든 전해질을 활용한 전고체전지를 2021년 중에 무선 이어폰 등의 웨어러블 기기용으로 출시할 예정임.
- 과제였던 이온전도율을 높이기 위한 고체재료 개발, 치밀하고 얇은 전해질층의 형성, 전극 활물질의 밀착성 향상 프로세스 개발 등에서 성과를 보인 것으로 나타나고 있음.
- MLCC의 시트상태의 적층구조를 일체화 하는 소성 공정을 배터리용으로 조정, 재료 조합, 공정, 장비 등의 변수를 종합적으로 조정

- 무라타제작소의 소형 전고체전지는 산업용 기계 분야 등에서 2021년부터 수주가 확대 중임.

<그림14> 무라타제작소의 전고체전지 구조



자료 : 무라타제작소

<그림15> 일본의 산학관 차세대 배터리 연구개발 사례

**NEDO/선진·혁신 전지재료평가기술개발 Prj.**

- 전고체 LIB를 EV 탑재 배터리로서 2025년 경에 양산화 할 수 있는 공통 기반 기술을 개발

**NEDO/RISING2 Prj.**

- 2020년도 말까지에 실제 셀 기준으로 에너지 밀도 500Wh/kg를 확인할 계획임. 내구성, 안정성 확보해 2030년 실용화 목표. 아연공기전지(800Ah/kg, 실용화 연구 단계), 금속硫化物전지 (650Ah/kg, 실용화 연구 단계), 나노 계면 제어 전지(600Ah/kg, 기초연구 재료 선정 단계),

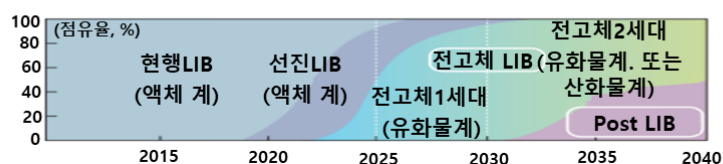
**JST/ALCA-SPRING Prj.**

- 전고체, 리튬유황전지와 더불어서 새로운 고성능 혁신전지에 관해서 기초연구 실시. 리튬공기전지(1200Ah/kg, 기초연구 재료 선정 단계), 마그네슘 이온전지(250Ah/kg, 기초연구 초기, 재료 탐색 단계)

**문부과학성/원소전략**

- LIB 이상의 성능을 계산과학과의 협업, 범용 원소 기능 최대화 통해 실현함. 고농도 전해질 기술의 대규모 상용화, 나트륨이온전지의 기업 이관, 水系고전압전지의 특허 망을 구축

차량용 배터리 기술 전망(NEDO)



자료 : 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 등

- 2020년대에는 기존 리튬이온전지의 성능 개선, 대량생산 및 원가 절감 기술의 개발과 함께 2030년대에 차량용 전고체전지가 본격화될 것에 대비하는 한편, 일본 정부 및 과학계에서는 차세대 배터리 기술로서 Post LIB(포스트 리튬이온 배터리)의 개발도 추진
- 세계적으로 리튬에어 연구 실적을 인정받고 있는 일본의 물질·재료 연구개발기구(NIMS)는 CNT를 시트 형태로 가공하고 양극 공기전극에 활용함으로써 대용량화에 성과(2017).
- 단, 이는 충방전 사이클에 제한이 존재, 이를 해결하기 위해 고결정성 과산화 리튬이 문제라는 점을 발견(2020), 저결정성의 과산화 리튬의 제조법 개발에 주력
- 동북대학의 재료과학고등연구소(AIMR)는 고체촉매와 액체 촉매를 동시에 활용함으로써 리튬에어전지의 양극재 반응속도 향상 확인
- 일본 산업기술종합연구소는 음극에 알루미늄, 양극에 유황과 폴리 글리콜, 전해액에  $AlCl_3$ 를 활용한 전지를 개발, 에너지 밀도에서 리튬이온전지를 능가
- 동경이과대학 등이 저렴한 칼륨(K) 이온을 활용한 2차전지 개발에서 성과, 에너지 밀도는 리튬이온전지 수준, 출력 밀도는 리튬이온전지를 능가

## (2) 수소연료전지 활용 분야 개척

- 일본정부는 연료전지·수소기술 개발 로드맵을 2005 년에 책정한 후 개정을 거듭하면서 자동차용뿐만 아니라 가정 및 산업용 연료전지의 보급에 주력해 왔으나 연료전지 및 수소탱크의 고비용 문제 등의 한계로 인해 보급에는 한계가 있어 왔음.
- 일본정부는 수소 충전소의 보급 정책 등도 강화하고 있으나 연료전지차의 근본적인 비용 문제 해결을 위한 기술개발에 주력하려는 방향



□ 이에 따라 도요타자동차 등의 민간기업과 NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)가 협력해서 기술적 과제를 추출하고 산학관 공동연구체제를 강화, 2020년 9월에 그 기술전략 방향이 공표되었음(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事長 石塚博昭, 燃料電池の飛躍的な普及拡大に向けた研究開発事業を開始—水素社会の実現に向けて新たな研究開発テーマを46件採択—2020年9月1日).

○ 여기서는 수소사회 실현을 위한 46개의 연구개발 주제가 채택되었음.

○ 이에는 △ 공통과제 해결을 위한 기반기술 △ 수소 이용 고도화 첨단기술 개발 △ 연료전지의 다용도 활용 실현 기술개발 등임.

- 고비용 문제의 원인이 되고 있는 백금 재료의 감축 및 대체 기술, 수소 저장 탱크의 안전화 및 원가절감 기술의 개발에 주력

○ 연료전지 승용차, 연료전지 상용차, 가정용 연료전지 열 병합 발전기, 연료전지 포크리프트 등의 기존 연료전지 분야 이외에 선박, 철도, 드론, 발전소용, 공장용 등에서 연료전지의 신규 보급을 유도하면서 규모의 경제성 확대와 함께 고내구성, 고효율, 저비용 등의 효과를 추구

- 승용차는 2020년경 누적 보급 대수 4만대 정도, 2025년경 누계 20만대 정도를 목표로 하고 일반 소비자 시장을 위한 연료전지차를 투입. 이후는 세계에서 가장 빠른 보급과 자립적인 보급 확대를 목표로 해서 2030년경에는 누계 80만대 정도로 확대할 방침임.

- 상용차는 2020년경에 상용차(트럭)에 도입하기 시작해서 2025년 이후에는 기타 이동체 (선박·철도, 산업용 차량 등)에 더욱 확대

- 2025년 이후 자동차 이외의 이동체(이륜차, 지게차, 선박, 철도 등)의 보급을 위해 연료 전지 스택, 주변기기의 제조·공급 기업의 창출로 시장의 확대를 지향함.

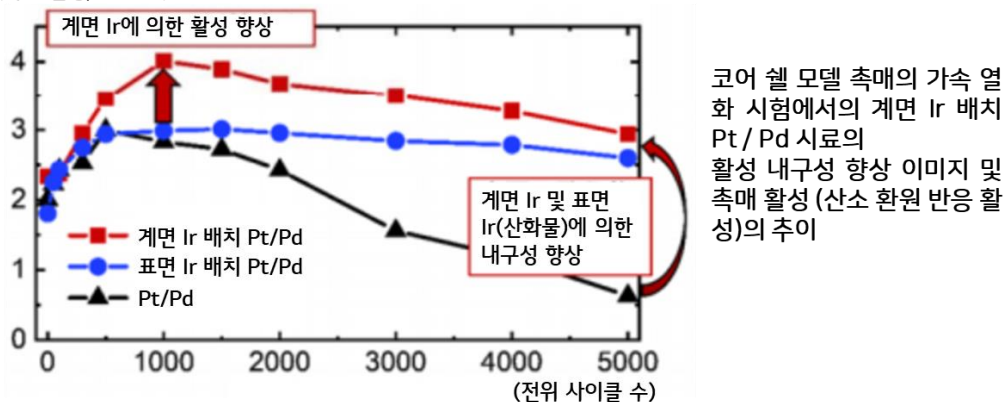
- 수소연료전지 선박은 2021년 6월에 발표된 그린 성장전략(일본정부 합동, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.)에서도 강조되었으며, 2025년경에 EV 선박과 함께 보급 확대기가 될 것을 목표로 하고 있음.

- 연료전지 자동차에 활용되는 고체고분자형 연료전지(PEFC : Polymer Electrolyte Fuel Cell)가 백금을 촉매로 필요로 하는 문제를 해결하기 위한 연구개발이 과제가 되는 가운데 동북대학이 2021년 2월 1일에 연료전지용 촉매의 성능 향상에 효과적인 제3 원소의 첨가 위치를 해명하는 연구결과를 발표(東北大学大学院環境科学研究科, 第3元素添加による燃料電池用触媒の性能向上— 燃料電池自動車用高性能触媒のための原子レベル開発設計指針 —, 2021.2.1)
  - PEFC는 양극에서 산소 환원 반응(ORR : Oxygen Reduction Reaction)이 진행되지만, 그 반응 속도는 매우 느리고 촉매로서 희귀하고 비싼 백금(Pt)을 다량으로 필요로 하는데, 현재 백금 사용량 줄이기 위해, 팔라듐(Pd) 등의 코어 입자를 수개 원자 층 두께의 백금 셸로 피복한 코어 셸 촉매 기술이 주목 받고 있음.
  - 이 코어 셸 촉매는 백금 사용량의 절감과 함께 기존 방식의 Pt에 비해 높은 촉매 활성을 나타내지만 연료전지 발전 환경에서 내구성(나노 입자 구조의 안정성)에 문제가 있었음.
  - 이번 연구는 코어 셸 촉매의 내구성을 개선하는 방법 중의 하나로서, 몰리브덴(Mo)과 이리듐(Ir) 등의 제3 원소를 촉매에 미량 첨가하는 것이 유효하다는 선행연구 등이 있었으나 코어 셸 촉매 입자의 어느 위치(사이트)에 제3 원소를 배치하는 것이 효과적인지, 또한 그 촉매 특성 향상 메커니즘은 원자 수준에서 어떤 메커니즘인지 밝혀지지 않았음.
  - 이번 연구는 백금 팔라듐 코어 셸 촉매에 이리듐을 제3 원소로 첨가 할 경우의 나노 입자에 대한 배치 위치(사이트)가 촉매 특성에 미치는 영향을 원자 수준에서 조사하고 일리지움 원자의 배치 위치(코어 셸 계면, 셸 표면)마다 촉매 특성 향상에 대한 효과를 원자 수준에서 해명한 것이 성과임.
  - 그리고 이 연구 성과는 연료 전지 자동차용 고성능 코어 셸 촉매의 새로운 개발 설계 지침을 원자 수준에서 제시 한 것이며, 신규 촉매 개발에 기여
  - 본 연구에서는 전자빔 증착법과 아크 플라즈마 증착법이라는 2가지 종류의 진공 증착법을 결합하여 Pt/Pd 코어 셸, Ir 표면 배치 Pt/Pd 코어 셸, Ir 계면 배치 Pt/Pd 코어 셸의 3가지 종류의 촉매 구조 모델을 초고진공 상태에서 제작하고, Ir의 첨가가 촉매 특성에 미치는 영향을 원자 수준에서 조사하고 그 특성 향상 메커니즘을 밝혀 냈음.

- 전자빔 증착법 : 텅스텐 필라멘트 등의 전자 원에서 방출 된 열전자를 자기장으로 편향시켜 도가니에 있는 증착 재료에 조사하여 가열 승화시켜 소정의 기판에 금속 등을 증착하는 방법
- 아크 플라즈마 증착법 : 소정의 재료를 음극으로 하고, 주변에 배치한 양극관 사이에 진공 방전 아크 플라즈마를 발생시킴으로써 음극 재료를 소정의 기판 위에서 증착하는 방법.

<그림16> 토호쿠대학교의 코어 셀 촉매에 대한 Ir 첨가품의 내구성 및 활성 향상

(촉매 활성, mA cm<sup>2</sup>.)



자료 : 東北大学大学院環境科学研究科, 第3元素添加による燃料電池用触媒の性能向上—  
燃料電池自動車用高性能触媒のための原子レベル開発設計指針 —, 2021.2.1

- 한편, 2030년대를 겨냥하여 발전용의 대형 SOFC(고체산화물형 연료전지, Solid Oxide Fuel Cell, 백금 재료 불필요)를 소형화하면서 자동차 등의 이동체에 탑재할 수 있는 기술의 개발에도 주력
- SOFC는 고온으로 가동하지만 세라믹 소재 등을 활용해 고가격의 백금을 사용하지 않아도 되어 가격 절감 잠재력이 있음.
- 닛산자동차는 이미 2016년에 세계최초로 SOFC 탑재 밴 타입의 상용차의 프로토타입을 개발한 바 있음.
- 100% 에탄올을 연료로 하는 발전장치(SOFC)를 탑재하고 SOFC로 만든 전력을 24kWh의 배터리에 축전되고 600km 이상 주행함.
- 단, 닛산은 차세대 자동차 전략을 EV, PHEV 등에 주력하기 위해 2020년에 연료전지차 개발을 중단

- SOFC는 자동차용으로서 활용하기에는 어려움도 있으나 기술적인 극복은 가능할 것으로 보임.
- SOFC는 연료 전지에서 발전 효율이 높고, 큰 주목을 받고 있는 기술이지만 SOFC는 산소의 환원 이온화에 시간이 걸리고, 전해질인 이온 전도성 세라믹 중에서 산화물 이온의 이동 속도가 느리다는 단점이 존재
  - 또한 작동 온도가 750 °C 이상으로 높기 때문에 자동차에 혼자 사용하는 것은 어렵다는 게 정설도 존재
- 다만, نيسان자동차가 중단은 했지만 이미 차량 개발 성과를 보였고 산화물 이온을 보다 고속으로 이동시키기 위해 전극에 촉매를 코팅하는 기술 등이 개발되고 있음(미국 조지아 대학).
- NEDO와 브로드론사, 아츠미테크사는 지난 2020년 6월에 LPG를 연료로 하는 SOFC 탑재 드론을 개발했다고 발표, 축전지로 가동하는 드론에 비해 장거리 비행이 가능하다는 장점이 강조되고 있음.

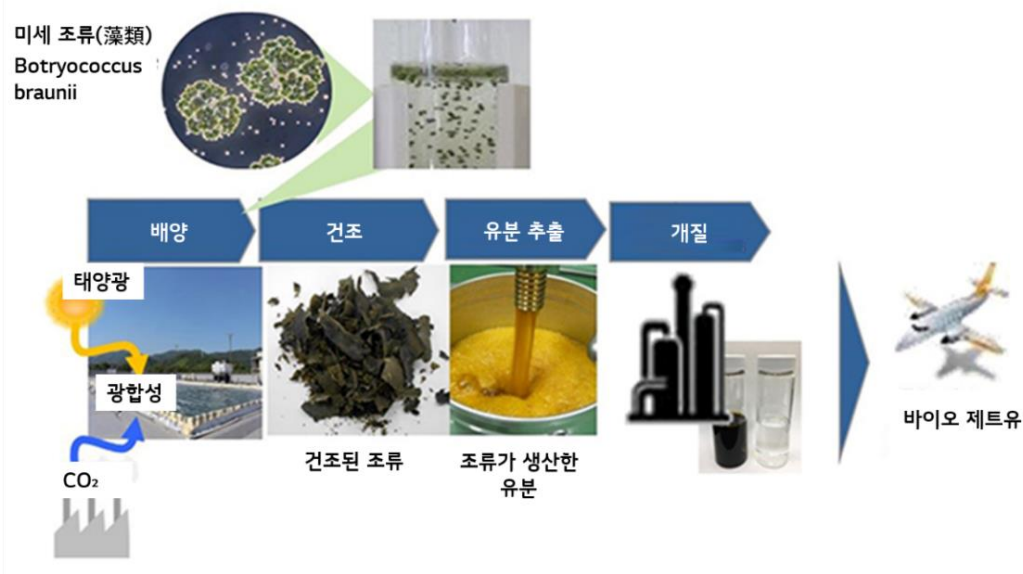
### (3) 바이오 연료 차세대 기술혁신

- 수송 분야에서 전력, 수소와 함께 석유 등의 화석연료를 대체하는 기술로서 비식물성 바이오 연료 기술의 개발도 모색되고 있음.
- 항공기의 그린화의 경우 폭발 위험이 큰 수소 연료를 탑재하는 데에는 어려움도 있고 비행기의 각종 구조의 혁신도 필요하다는 어려움이 존재
  - 물론, 일본정부는 2030년까지 항공기 기체의 모델 체인지를 통해 항공기의 하이브리드화(전기모터와 휘발유 엔진 겸용)와 함께 2035년에 수소 발전 항공기를 도입하겠다는 목표도 제시해 관련 기술의 개발도 모색할 것으로 보임.
- 반면, 바이오 연료를 할 경우 기존의 기체, 엔진 등을 그대로 활용할 수 있는 장점이 있음.

- 2050년 탄소 중립화를 위해 각 분야에 막대한 투자가 필요한 상황에서 항공기의 경우에는 바이오 연료로 기존 산업 인프라를 활용하려는 방향이 현실적일 수 있음.
- 단, 바이오 연료의 경우 대량 생산체제를 구축하면서 합리적인 가격으로 생산할 수 있는 비용 절감 기술의 개발이 과제로 인식되고 있음(일본정부 합동, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.).
- 이 대체 항공 연료(SAF : Sustainable Aviation Fuel)와 관련된 기술 과제로서 일본정부는 △ 가스화 FT 합성 기술(나무 조각 등의 유기물을 찌м-가스화 및 촉매에 의해 액화하는 공정에 의해 SAF를 제조하는 기술 (Fischer Tropsch process) △ ATJ(Alcohol to jet의 약자. 바이오 에탄올을 촉매 등을 이용하여 SAF로 개질하는 기술) △ 미세 조류(藻類) 배양 기술(광합성에 의해 이산화탄소에서 유분 지질을 낳는 녹조류를 안정적으로 대량 배양하여 SAF를 제조하는 기술) 등을 지목
- 가스화 FT 합성은 다양한 재료의 품질을 균일화하는 파쇄 처리 기술의 개발이 과제이며, ATJ의 경우는 고온 상태에서 촉매 반응의 제어 기술을 개발하는 것이 과제임.
- 미세 조류 배양법의 경우 ① 조류가 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 효율이 낮고, 증식 속도가 느리다(생산성이 낮은)는 단점 보완, ② 녹조류의 외부 환경에 대한 저항력이 약하기 때문에 안정적으로 증식하기 어렵다(생산의 안정성이 취약)는 단점의 보완이 필요함.
- 이들 과제를 해결하는 기술의 개발이 추진되고 있으나 아직 아직 소규모 실증 단계에 머물고 있으며, 현재의 제조 가격은 200~1,600엔/L로 기존 석유제품의 100엔/L에 비해 16배의 가격차 축소가 과제임.
- 이에 따라 일본정부는 연구개발 투자 지원 대규모 실증실험의 추진을 통해 가스화 FT 합성 기술, ATJ 기술, 미세 녹조류 배양 기술 등의 기술적 과제를 2030년경에 극복하고 비용을 100엔대/L로 절감하여 실용화하겠다는 목표를 설정

- 주식회사 IHI(소재지 : 도쿄도)는 미세 조류에서 생산한 바이오 제트 연료를 지속 가능한 대체 항공 연료 SAF로서 제조해 지난 2021년 6월 18일에 일본 내 정기항공편에 공급했다고 발표
- 이 연료는 국가연구개발 기구인 신에너지·산업기술 종합개발기구(NEDO)의 위탁 연구 개발 사업에서 개발된 것이며, 바이오 제트연료의 국제규격 ASTM D7566 Annex7에 적합한 것임.
- 국제규격인 ASTM D7566는 ASTM International(구 American Society for Testing and Materials : 미국 시험 재료 협회)가 정하는 항공용 대체 제트연료에 관한 규격이며, 그 중에서 Annex7는 미세 조류인 *Botryococcus braunii*에서 추출한 유분(탄화수소를 주 성분으로 함)을 수소화 처리해서 합성한 액체 탄화수소 연료를 규정한 것임.
- IHI가 독자적으로 ASTM에 표준 신청하고 2020 년 5 월에 승인되었음. 이번에 생산된 것은 고속 증식형 HGBb(Hyper-Growth *Botryococcus braunii*)이며, 조류에 의한 유분의 배양 속도를 향상 할 수 있도록 개량된 것이며, 유분이 많은 미세 조류임.

<그림17> IHI와 GGT사에 의한 미세 조류 활용한 바이오 연료 생산 구조



자료 : IHI 보도자료, 微細藻類から製造したバイオジェット燃料を国内定期便に供給-2021年6月18日-

- 이 유분 증식형 조류는 주식회사 GGT(본사 : 오사카)가 개발한 미생물임.
  - Botryococcus brauni는 증식 속도가 매우 느리고 1회 분열에 1주일 이상이 소요되기 때문에 실용화는 물론, 연구자들도 포기하는 사람이 많았으며, 추출한 유분을 저부가가치의 연료 보다 식품, 화장품 등에 활용하려는 경향도 강했음.
  - 다만, 고베대학발 스타트업 기업으로서 창업된 GGT사는 품종 개량을 거듭하여 2009년 말에 고속증식형 미세 조류 개발에 성공. 이는 세포 분열 속도가 2일이며, 게다가 오일 생산 능력도 50 ~ 70 %로 뛰어난 능력을 가지고 있음.
  - 그 후 일본 경제산업성 및 NEDO가 관심을 갖게 되고 실용화 프로젝트가 진행되어 IHI와의 협력으로 시험적 규모의 생산이 개시된 셈임.
- 미세 조류의 유전자 개량 통한 증식 속도와 유분 생산량의 확대가 과제라고 할 수 있으며, 최근에는 유전자 가위인 CRISPR-Cas9의 활용 등이 세계적으로 모색되고 있으며, 도요타 계열의 덴소도 스타트업 기업인 유그레나와 함께 미세 조류를 활용한 휘발유 생산 시스템의 개발에 나서고 있음.

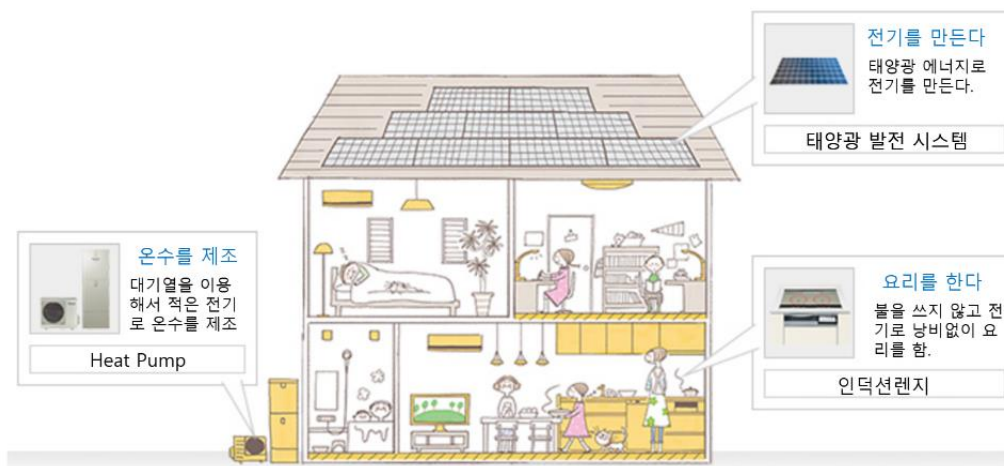
## 4. 민생 분야의 그린 에너지 기술혁신 방향

### (1) 화석 연료 의존 대체 기술 방향

#### ① 가정의 모든 에너지를 재생에너지 전력으로 대체

- 단독주택이나 집합주택 등 생활공간에서 소비되는 에너지의 탈탄소화를 이루어야 전체 화석에너지 비율을 낮출 수 있음.
- 일본 가정의 에너지원별 사용 비율을 보면 2018년 기준으로 전력이 51.2%, 도시가스 21.9%, LPG 10.2%, 등유 16.2%, 태양열 기타 0.6% 등임.

<그림28> Panasonic의 All 전화(電化) 주택 개념



자료 : Panasonic

- 이러한 가운데 가정 에너지의 탈탄소화를 위해서는 가장 높은 비중을 차지하고 있는 전력을 태양광 발전 등의 재생에너지로 전환하는 한편 도시가스, LPG 등을 친환경 전력 에너지로 바꾸는 All 전화(電化) 주택의 보급이 모색되고 있음.
- 일본정부와 일본기업이 협력해서 가정용 태양전지, 전자식 조리기인 인덕션렌지와 함께 온수를 효율적으로 공급할 수 있는 가정용 히트펌프의 개발과 보급에 주력해 왔음.



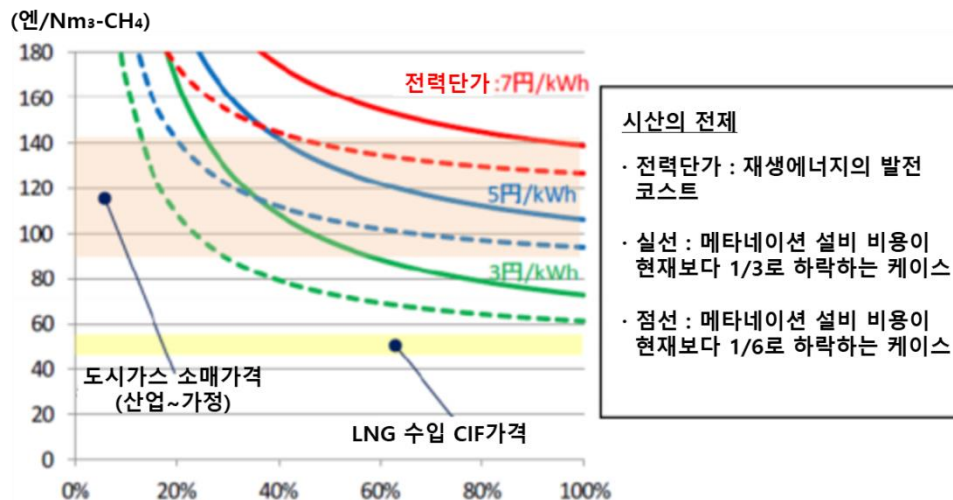
- 가정용 히트펌프는 에코큐트라는 상품명으로 보급되고 있으며, 이는 압축기를 내장한 실외기에 의해 온수를 만드는 것이며, 자연 냉매를 전기의 힘으로 압축·팽창시킴.
- 자연 냉매가 가스·액체로 변화하고 기화와 액화에 의한 열교환을 이용하는 시스템임. 에어컨 실외기가 프레온이나 프레온 대체품을 사용해서 환경에 일정한 부담이 가는 것과 달리 에코큐트는 이산화탄소를 냉매로 하고 있다는 차이가 있음.
- 이산화탄소 냉매는 오존층 파괴 계수가 제로이며, 지구 온난화 계수도 대체 프레온보다 현저하게 작다는 장점이 있음.
- 이산화탄소 냉매가 널리 사용되고 있는 히트펌프식 에코큐트는 기존의 전기온수기에 비해 소비 전력을 1/3로 억제되기 때문에 단순히 전기 에너지로만 가동하는 전기온수기와 비교하여 전기 요금을 1/3까지 저감 가능
- 다만, 이 에코큐트의 대당 판매 가격이 17만엔~25만엔(인터넷 일반 판매점 인기상품 기준)으로 비싼 편이며, 원가절감이 지속적 과제임.
- 또한 AI 전화(電化) 주택을 위해서는 태양광 발전의 시간대별 변동성, 전력 생산 한계 등을 고려할 필요가 있으며, 이를 해결하기 위해 가정용 축전지(ESS)도 도입해야 하면 AI 전자화를 위한 비용 부담이 더욱 가중
- 이에 따라 가정용 ESS의 가격 절감 기술의 개발과 함께 가정용 주택 지붕에 설치하는 태양전지의 발전 효율 제고도 과제
- 또한 일본의 경우 상당수 주택이 목조 건축물이며, 신축 철근 주택에서는 태양광 설치가 용이한 반면 기존 목조 주택에 무거운 태양전지를 설치하기가 어려운 문제도 존재
- 이 문제를 해결하기 위한 기존 주택의 태양전지 탑재 지붕 리모델링 공법의 개발에도 주력하는 한편, 가볍고 간편하게 설치할 수 있는 Perovskite 태양전지의 개발에도 주력

## ② 가스 에너지의 수소화

□ 가정에서 사용하는 에너지를 다 전기화 할 수도 있으나 재생에너지 전력의 공급 한계 등도 고려하면 기존의 가스를 활용한 열에너지 인프라를 사용하면서도 탈탄소화 효과를 볼 수 있는 방안도 필요할 수 있음.

- 이에 따라 일본정부는 탄소 제로 공법으로 만든 수소와 포집한 이산화탄소를 원료로 하여 메탄을 합성해 도시가스를 대체하는 연료로 활용하는 방안을 모색
- 메탄 이용시의 이산화탄소 배출량은 이산화탄소를 포집한 것이기 때문에 탄소 배출은 실질 제로가 되는 셈임.
- 메탄은 천연가스의 주성분이기 때문에 기존의 도시가스 파이프라인을 그대로 활용할 수 있는 이점이 존재, 또한 주택용 이외에 LNG화력 발전소, LNG 선박에도 활용할 수 있는 잠재력이 존재

<그림19> CN Methane(재생에너지 유래 수소와 CO<sub>2</sub>합성한 메탄)의 제조비용 시산

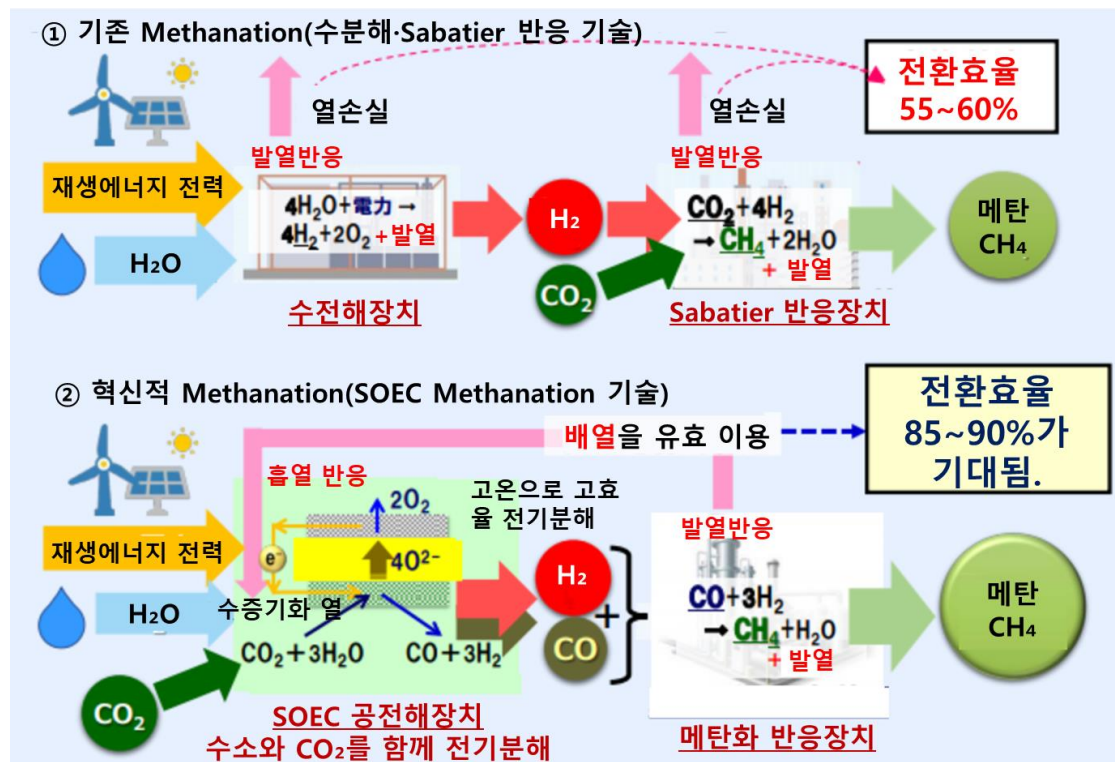


자료 : 資源エネルギー庁, 脱炭素化に向けた次世代技術・イノベーションについて, 2018.2.19.

- 이러한 탄소중립 메탄(CN Methane)의 경우 고비용 문제는 있으나 일본의 자원에너지청의 평가로는(資源エネルギー庁, 脱炭素化に向けた次世代技術・イノベーションについて, 2018.2. 19.) 수전해 설비 등이 충분히 가격이 하락하고(2015년 대비 3분의 1정도) 재생에너지 전력 비용이 5엔/kWh 정도로 하락하면 도시가스 소매가격 수준이 될 것으로 평가되고 있음.

- CN Methane의 경우 기존의 가스관을 활용할 수 있는 이점이 크기 때문인 것으로 보임.

<그림20> 오사카가스의 혁신형 Methanation 기술



자료 : 大阪ガス株式会社, エネルギー技術研究所, 都市ガスの脱炭素化に貢献, 「革新的メタネーション」実現のキーとなる新型SOECの試作に成功~水素・液体燃料などの高効率製造にも活用可能な技術の開発~, 2021.1.25.

- 단, 일본에너지연구소의 시산을 보면 CN Methane이 산업용에서는 수소 자체를 에너지로 활용하는 방식에 비해 경쟁력을 갖기가 어려울 것으로 추정되었으며, 대형 열에너지 사용 분야에서 공단 등에서 비교적 저렴한 코스트로 수소파이프 라인을 새로 건설할 수 있는 산업용에서는 CN Methane 보다 수소를 직접 활용하는 것이 유리하다는 것임(柴田善朗·木村謙仁, カーボンニュートラルメタンの将来ポテンシャルーPtGとCCUの活用:都市ガスの低炭素化に向けてー, IEEJ:2018年2月)

- CN Methane의 경우 수소제조를 위한 수전해장치나 수소에서 메탄을 제조하는 프로세스 등에서 에너지가 손실되기 쉬운 과제가 있는데, 오사카가스는 신형 SOEC 전해장치와 배열을 활용하는 메탄화 반응장치 공법을 개발해 에너지 전

환효율을 85~90%로 끌어올렸음(大阪ガス株式会社, 都市ガスの脱炭素化に貢献「革新的メタネーション」実現のキーとなる新型SOECの試作に成功～水素・液体燃料などの高効率製造にも活用可能な技術の開発～, 2021年1月25日).

- 지금까지의 SOEC(고체산화물 수전해 장치 : Solid Oxide Electrolysis Cell)는 고가 격의 특수 세라믹으로 만들어졌지만 오사카가스가 개발한 신형 SOEC은 튼튼한 금속을 기판으로 표면을 얇은 세라믹 층으로 덮은 금속지지 형으로 값 비싼 특수 세라믹 재료의 사용량을 기존 대비 10% 정도 줄였음.
- 신형 SOEC는 기존 시스템 대비로 충격에 대한 내성이 높고 스케일 업도 용이 할 것으로 예상되고 있음.
- 또한 이 신형 SOEC 기술은 메탄 생산 용도 뿐만 아니라 수소, 액체연료, 암모니아, 화학 등의 고효율 생산에도 활용 가능함.
- 오사카가스는 앞으로 연구기관, 다른 기업과 적극적으로 협력하면서 이 기술을 2030년 경에 확립할 것을 지향

## (2) 절전 기술 혁신 방향

- 일본정부는 에너지의 전력화와 함께 디지털혁신(DX)이 가속화되면서 전력수요가 급증할 수 있기 때문에 전자제품 및 부품의 절전 성능 향상에 지속적으로 주력 할 방침임(일본정부 합동, 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.).
- 대규모 데이터 센터의 경우 발전소 1개 정도의 전력 수요를 창출하며, 자율주행이 본격화될 경우에도 막대한 전력수요가 발생할 수 있으며, 기존의 전자제품 및 통신 시스템을 획기적으로 절전형으로 바꾸지 않으면 탄소중립의 달성이 어려워질 수 있다는 인식임.
- 그린 디지털화가 필요하다는 인식과 함께 이를 위한 핵심이 될 반도체, 통신 분야를 일본의 그린 기술을 통해 차세대 제품으로 혁신하면서 이들 분야에서의 국제적 경쟁력의 회복에도 주력하겠다는 전략임.

- 일본은 거의 모든 전기기기에 내장 된 전력반도체 분야에서 강점(세계시장 점유율 29%)을 가지고 있으며, 정보 처리에 필수적인 메모리 반도체, 광전자, 고성능 컴퓨팅 등의 분야에서 에너지 절약 고성능화로 차세대 제품 경쟁력을 강화
- 이와 함께 절전형 데이터 센터, 5G 및 포스트 5G를 위한 Beyond 5G 전략 등 정보통신 인프라의 에너지 절약성능 향상에 주력
- 중요시 되고 있는 전력반도체의 경우 기존의 Si 전력반도체의 고성능화와 함께 초고효율의 차세대 전력반도체인 GaN, SiC, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>등의 실용화를 위한 방사광·중성자선 시설을 활용한 물성 평가 및 고속 전자계산기의 활용에 의한 자료 검색 등 학계가 보유한 반도체 관련 기술·시설 등을 활용하여 연구개발을 지원함.
- 신기술의 도입 촉진을 위해 반도체 관련 장치의 설비투자를 지원 및 촉진하면서 관련 소재, 부품, 장비를 포함한 차세대 전력반도체 공급망을 정비하여 2030년까지 에너지 절약 효과를 50% 이상 높인 차세대 전력반도체의 실용화·보급 확대에 주력
- 이를 통해 일본기업의 2030년 세계시장 점유율을 40%(1.7조엔)을 확대할 것을 목표로 함.
- 또한 차세대 에너지 절약형 전자기기(모터 제어용 반도체 등), 차세대 전력 전자 기술 (AI 등을 활용 한 고효율 제어 등), 차세대 모듈 기술(고방열재료 등), 차세대 수동 소자·실장 재료(코일 등) 등의 연구개발을 추진함과 동시에, 차세대 반도체의 성과를 이용해서 응용 가능한 용도(전동차 데이터 센터 전원 및 전력 변환 장치·LED 등)와 관련한 기술의 실증·실장·고도화를 지원함.
- 그리고 2050년까지 차세대 전력반도체, 고효율 모터 등의 기술을 모든 전자기기에 탑재하고 응용하면서 전력 효율성을 제고
- 일본 전자산업 입장에서 보면 최근 이러한 전력의 디지털화, 그린화와 함께 수요가 확대되고 중요성이 높아지고 있는 전력반도체 분야에서 강점을 유지하고 더욱 강화하는 데 주력할 것으로 보임.

<그림21> 차세대 파워반도체, SiC와 GaN의 고성능화 수준

물성		기존 Si	SiC	GaN
밴드 갭	eV	1.1	3.3	3.4
전자 이동도	cm <sup>2</sup> /Vs	1350	700	1500
파괴 전계	MV/cm	0.3	3.0	3.3
성능지수	$\epsilon\mu eE_c^3$	1	440	1130

차세대 제품인 SiC, GaN은 Si와 비교해서...



자료 : Sanken(일본 파워반도체 전문기업)사 홈페이지

이지평·이인숙, KJ Japan Insight, 2021.3.

- 사실, 히타치, 도시바, 미쓰비시전기 등 일본의 전력반도체 회사들이 투자를 확대하는 방향임.
- 히타치제작소는 지난 1월 26일에 모터 등에 사용되는 전력반도체 분야에서 차세대 소재인 SiC(탄화규소)를 사용해서 획기적으로 성능을 개선한(기존 실리콘 제품에 비해 소비전력 절감, 전류 확대 및 고속화 가능) 제품을 개발했다고 발표
- 동사는 이 전력반도체를 철도, EV, 태양광 등 각종 전자기기의 성능을 향상시킬 수 있는 제품으로서 판매 촉진에 주력할 방침임.
- 한편, 일본정부의 '반도체·디지털산업전략 검토회의'에서 제시된 반도체 산업육성 전략 방향을 보면, 향후 5G, AI, IoT 등의 디지털 기술기반의 발전에 따라 이를 활용한 자율주행, FA, 스마트시티 등의 성장에 필요한 로직 반도체의 설계 개발에 착수하겠다는 입장이 제시되고 있음.
- 디지털 뉴딜 정책, 디지털 트랜스포메이션의 촉진과 함께 첨단 로직반도체의 설계 개발을 강화하면서 로직반도체의 수요를 촉진

- 이를 위해 첨단 로직 반도체의 유저 기업과 설계 기업, 통신회사 및 벤더가 일체가 되어 Edge 컴퓨팅용 반도체 설계 기술의 개발을 추진
- 특히 일본정부는 Edge AI칩과 차세대 컴퓨팅 기술을 동시에 개발하는 국가 프로젝트(2016~2027)에 주력해 왔으며, 자율주행 등을 뒷받침하기 위한 막대한 데이터량에 대응할 수 있도록 새로운 개념의 컴퓨팅 기술에 기반한 반도체의 개발을 모색(NEDO, 高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発基本計画 2016年度～2027年度)
- Edge 컴퓨팅에 의한 AI 처리를 실현하기 위한 소형이면서 에너지 절약성이 높고 고도의 처리 능력을 가진 전용 칩과 이를 이용한 컴퓨팅 기술, 또한 이를 위한 보안 기반기술도 연구
  - 비휘발성 소자 등의 스위칭기구를 이용한 컴퓨팅 기술 : 플래시 메모리와는 다른 원리로 ON/OFF 상태를 유지하는 새로운 구조의 비휘발성 소자를 이용한 스위칭 메커니즘을, 메모리, 통신 회로, 디지털 신호 처리 회로 등에 도입함으로써 절전형 AI처리를 가능케 하는 컴퓨팅 기술을 개발
  - Reconfigurable device에 의한 컴퓨팅 기술 : 주어진 작업이나 설치 환경에 맞게 칩 내부의 회로 구성을 동적으로 변경함으로써 항상 고속이고 저소비전력의 동작 기술 등을 개발
  - 연산처리량의 경량화를 실현하는 AI 임베디드 컴퓨팅 기술 : 칩이 데이터를 처리 할 때 데이터를 경량화하여 처리 할 수 있도록 칩에 입력되는 계산 프로그램을 자동으로 변경함으로써 칩에서의 정보처리량을 가능한 한 경감하는 기술 등을 개발
  - Edge 컴퓨팅용 실시간 소프트웨어 제어 기술 : 다수의 프로세서를 높은 실행 효율로 제어 할뿐만 아니라, Edge 컴퓨팅으로 요구되는 실시간성을 충족하고 에너지 절약 성능이 뛰어난 OS 기술 등을 개발
  - 다수의 분기 노드를 가진 AI 알고리즘 처리를 고성능화하는 컴퓨팅 기술 : 주어진 작업을 작은 작업 단위로 분해 정렬하고 프로세서의 이용 상황과 처리 단위의 실행 우선순위를 동적으로 판단해서 실행 제어 할 수 있는 병렬 프로세서 기술 등을 개발

- Edge 디바이스의 보안 기술 및 그 평가 기술 : 오픈 아키텍처의 CPU 명령어 세트인 RISC-V를 이용하여 산업 용도로 많이 사용되는 데이터 저장 방식에 대응한 프로세서, 해당 프로세서상의 응용 프로그램을 안전하게 작동하는 실행 환경, 해당 프로세서에서 AI 처리 및 병렬 처리 등에서 많이 사용되는 라이브러리를 활용 가능하게 하는 기술 등의 개발. 또한 Edge 디바이스에 대한 공격에 대비한 보안 기술 등을 개발. 기존기술도 포함하여 그 성능을 횡단적으로 평가하기 위한 평가 기술 등도 개발

□ 무어의 법칙의 한계가 나타나고 기존 반도체 설계구조를 혁신하는 이노베이션의 필요성도 존재하며, 일본으로서는 기존의 반도체 강자의 연속적인 이노베이션을 무력화시킬 수도 있도록 새로운 컴퓨팅 기술을 기반으로 한 반도체 분야의 혁신을 모색하고 있다고도 할 수 있음.

○ 이러한 반도체의 혁신을 통한 AI기능의 하드웨어화(막대한 데이터 처리량 대응, 절전성 대응, 실시간성 대응 등에 필수)에는 일본에서도 AI 전문 스타트업 기업인 Preferred Networks가 AI칩을 개발 및 설계하는 등 성과를 보이고 있음.

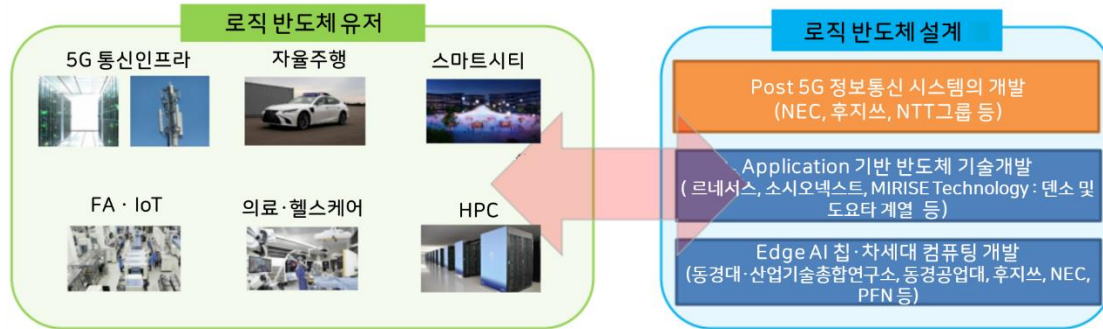
○ 구글도 TPU(Tensor Processing Unit) 등 AI의 반도체화에 주력하기 시작했으며, 앞으로 세계 각국 기업 간의 경쟁이 격화될 전망, 일본으로서는 소재기술, 절전기술 등을 활용해서 차별적 강점을 모색할 것으로 보임.

□ 예를 들면 일본 동북대학교의 국제집적일렉트로닉스연구개발센터(CIES)는 자성 기반의 스핀트로닉스를 응용한 메모리 소자인 자기 터널 접합(MTJ) 소자를 응용한 AI칩을 개발(닛케이 테크놀로지 온라인, <https://special.nikkeibp.co.jp/atcl/TEC/17p/080800023/>)

○ 기억 및 학습 처리에 적합한 MTJ와 판단 처리에 적합한 CMOS를 조합함으로써 지금까지의 AI칩보다 고성능이면서 절전성능을 제고하는 성과를 거둔 것으로 평가되고 있음.



<그림22> 디지털화 촉진하는 로직반도체 설계 강화 방향



자료 : 일본 경제산업성, 반도체전략, 2021.3.

이지평·이인숙, KJ Japan Insight, 2021.5

- 한편, 신에너지·산업기술 종합 개발기구(NEDO)와 소시오넥스트, ArchiTek사 및 도요타자동차는 2020년 6 월에 AI Edge LSI의 AI인식/이미지 처리 효율을 대폭 향상시키는 기술을 개발했다고 발표(馬本隆綱, AIエッジLSIのAI認識・画像処理技術を向上電力効率は汎用GPUの10倍以上, EE Times Japan, 2020.6.22.)
- 새롭게 개발한 것은 '하이브리드 양자화 딥 신경망(DNN) 기술'과 '진화형 가상 엔진 아키텍처 (aiPE) 기술', '실시간 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 처리 기술' 등임.
- 이는 AI 인식 처리와 화상 처리의 전력 효율성이 범용 GPU에 비해 10배 이상이 되고 실시간 SLAM의 자기 위치 추정 처리 시간은 기존 CPU에 비해 20분의 1로 단축할 수 있음을 확인했음.
- 이러한 반도체, 통신 분야의 절전 성능을 향상하면서 디지털화의 기초가 될 데이터 센터의 절전 성능을 향상에 주력
- 일본 내 데이터 거래를 되도록 일본 내 데이터 센터에 집약하면서 국제데이터 통신에 따른 전력 낭비를 억제, 신설 데이터 센터의 전력 효율을 30% 향상, 모든 데이터 센터의 전력을 재생에너지로 조달
- 2040년까지 모든 데이터 센터의 탄소 중립화를 달성(일본정부 합동, 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.).

<표2> 일본의 6G 로드맵

분류	기능	목표
5G 특징기능 고도화	초고속·대용량	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 액세스 통신 속도 5G 의 10 배</li> <li>● 코어 통신 속도 현재의 100 배</li> </ul>
	초저지연	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 지연시간 5G 의 1/10</li> </ul>
	초다수 동시접속	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 동시접속수 5G 의 10 배</li> </ul>
가치 창출을 위한 새로운 기능	자율성	<ul style="list-style-type: none"> <li>● AI 기술 등을 활용해 사람의 개입없이(Zero Touch) 모든 기기가 자율적으로 연계되고 유선/무선을 의식하지 않고 즉시 이용자의 니즈에 맞추어서 최적의 네트워크를 구축</li> </ul>
	확장성	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 단말기나 기지국이 위성이나 HAPS(High Altitude Platform Station) 등 상이한 통신 시스템과 끊임없이 직접 접속</li> <li>● 다양한 디지털 디바이스간 상호 연동을 통해 모든 장소(지상, 바다, 하늘, 우주 등)에서 통신 이용</li> </ul>
	초안전·신뢰성	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 이용자가 의식하지 않아도 보안 및 개인정보보호가 항상 확보</li> <li>● 재해나 장애시에도 서비스 중단 없이 즉시 복구</li> </ul>
	초저소비 전력	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 전력소비량 현재의 1/100 수준</li> <li>● *2030 년의 IT 소비전력은 현재의 36 배로 예상. 데이터 처리량에 비례하는 전력소비량의 급격한 증가에 미리 대비</li> </ul>

자료 : 総務省, Beyond 5G 推進戦略—6G へのロードマップ—, 2020.6.30.

- 이상과 같은 전자, 통신 분야의 그린 기술의 혁신 성과를 통해 주택이나 사무실의 에너지 순 소비량(지붕 태양광 발전 등 통한 에너지 창출 - 에너지 소비)을 실질적으로 제로로 하는 ZEH(Net Zero Energy House), ZEB(Net Zero Energy Building)의 보급에 주력
- 이미 일본정부는 2014년도에 결정된 에너지기본계획에서 2020년까지에 표준적 신축주택을 ZEH로 하고 2030년까지에 신축주택의 평균으로 ZEH를 달성한다는 목표를 설정한 바 있음.
- 이에 따라 유력 주택건설사업자인 세키스이 하우스사의 경우 2020년도에 신축주택의 ZEH 비율 91%로 끌어올리는 데 성공(PRESS RELEASE, 2021年 4月 26日, 積水ハウス株式会社, 積水ハウス、2020 年度新築戸建 ZEH 比率 91%, 日本の温室効果ガス削減目標 46%達成に向け、業界をリードして推進)

## 5. 제조 분야의 그린 에너지 기술혁신 방향

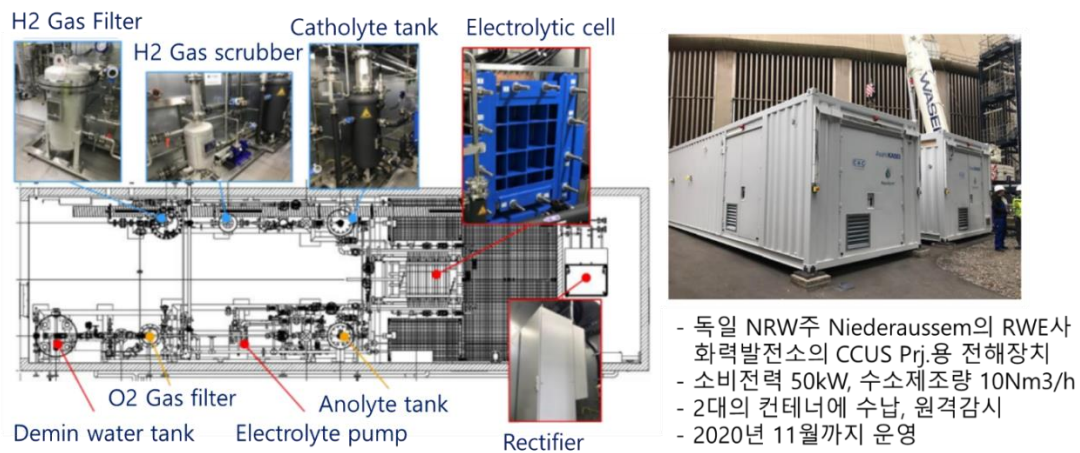
### (1) 수소 제조 원가 절감 기술개발 방향

- 산업 분야에서는 철강 산업의 석탄을 연료로 활용한 기존 공법, 석유화학의 석유원료 의존 등으로 탈탄소화가 단기적으로 어려운 측면이 존재
- 그럼에도 불구하고 2030년에 이산화탄소를 46% 감축하고 2050년에 0%로 하기 위해서는 이들 산업분야에서도 화석연료에 의존하지 않는 기술혁신의 필요성이 확대
- 현재 어느 국가도 철강, 석유화학 등의 분야에서 원가경쟁력을 유지하면서 탈탄소화 공법을 도입할 수 있는 양산기술을 개발하지 못한 상황이며, 일본도 불확실성이 있는 가운데 각 산업 분야에서의 탈탄소 기술의 혁신을 기대하면서 관련 분야의 투자를 유도할 방침임.
- 철강, 화학 등에서 화석연료를 대체하기 위해서는 수송 및 전력산업처럼 재생에너지와 배터리 기술만으로는 한계가 있으며, 수소를 활용한 열 에너지 및 메탄네이션이 중요한 과제로 인식되고 있음.
- 이를 위해서는 이산화탄소를 효율적으로 포집하고 저렴한 비용으로 수소를 제조 및 활용할 수 있는 인프라의 구축이 중요한 과제로 인식되고 있음.
- 수소를 기반으로 한 공업 인프라를 선행적으로 구축하기 위해서는 기업의 불확실성을 완화할 수 있는 정책적인 뒷받침도 중요할 것으로 인식되고 있음.
- 이에 따라 일본정부는 수소의 국제적 거래에 대비한 수소 수송 관련 분야를 강화하는 한편 일본 내에서의 수소 제조 기술 및 생산 기반 확충에 주력하겠다는 정책방향을 제시하고 있음.
- 2050년 시점에서 10%의 수소가 국제 시장에서 거래되고 있을 것으로 가정하면서 거래 시장은 최대 약 5,500 만톤/년(약 5.5 조원/년)이 될 것으로 예상

- 이러한 시장을 창설하기 위해서는 수소 관련 수송·저장 비용 절감에 기여하는 운송 관련 설비의 대형화를 위해 연구개발 지원, 실증 투자 지원 등에 나서고 2030년을 목표로 상용화함.
- 또한 혁신적인 수소 액화 냉동 기술의 연구 개발에도 주력하면서 2030년에 30 엔/Nm<sup>3</sup>의 공급 가격 실현을 목표로 함.
- 그리고 일본정부는 수소 생산에서 향후 중요한 것은 물을 전기 분해해서 수소를 만드는 수분해 장치라는 점을 강조, 이 수전해 장치의 비용 감소에 따라 2050년에는 화석 연료 + CCUS 및 탄소 재활용으로 생산되는 수소보다 저렴하게 수소를 제조 할 수 있게 되는 지역이 나올 것으로 전망
- 이러한 예상을 바탕으로 유럽 등은 재생에너지의 확대와 함께 수전해 분해 장치의 도입에도 함께 주력
- 일본은 세계 최대급의 수전해 장치를 건설하고, 요소 기술에서도 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있지만 더욱 대형화하기 위한 기술 개발 등에서는 유럽 등 다른 국가 기업이 일부 선행하는 구도가 되어 있다고 일본정부도 우려를 표시
- 수전해 장치는 전세계적으로 2050년까지 매년 평균 약 88GW(약 4.4조엔/년)의 도입이 예상됨(IEA, Energy Technology Perspectives 2020, Faster Innovation Case 등을 기초로 한 일본정부의 최대 추정치, 평균설비가격 : 5만엔/kW을 전제 )
- 앞으로는 선행적으로 시장이 확대될 것으로 보이는 유럽 등의 시장 확보에 우선 주력하기 위해 그린 이노베이션 기금도 활용하면서 일본 기업의 설비 대형화와 우수한 요소 기술을 장비에 구현 하는 것 등을 집중 지원함.
- 장비 비용을 더욱 절감하고 내구성을 향상시켜서 국제 경쟁력의 유지·강화를 목표로 함. 유럽에서 실시하는 것과 같은 환경에서 수전해 장치의 성능 평가를 할 수 있는 환경을 일본 내에서도 구축해 일본기업 제품의 해외진출을 촉진함.

- 또한 일본 내에서도 재생에너지의 잉여 전력이 증가하는 것 등에 대비하면서 시간대별로 전력수급 초과에 대응하고 수급을 조절하는 DR(Demand Response)를 보급시키면서 잉여전력에 의한 수소의 저비용 생산체제를 강화. 이를 통해 수전해 장치의 생산 및 보급 확대 기회를 확대
- 수전해 장치와 함께 광촉매 및 고온 가스로 등의 고온 열원을 활용 한 혁신적인 수소 제조 기술의 연구 개발 및 실증도 함께 추진해 나감.

<그림23> 아사히화성의 알칼리 수전해 장치의 구조



자료 : 旭化成株式会社 執行役員 竹中 克, カーボンニュートラル社会の実現に向けた旭化成の取組, 第2回 水素燃料電池戦略協議会, 2021.3.2.

- 이와 같이 화석연료에 의존하지 않는 수소를 친환경 공법으로 만드는 그린 수소를 저렴하게 제조 하는 것이 향후 일본의 제조업 유지에 중요한 과제이며, 그 핵심이 되는 수전해 장치 및 차세대 제품의 개발이 기술혁신 전략의 핵심이 되고 있다고 할 수 있음.
- 수분해 장치는 물을 전기분해 하여 수소(H<sub>2</sub>)와 산소(O<sub>2</sub>)로 분리하면서 수소를 추출하는 장치이며, 여기에 재생에너지를 활용하게 되면 탄소 제로의 수소를 확보할 수 있는 것임.
- 유럽의 수소전략 달성을 위해서도 막대한 수요(2X40GW의 수전해 장치 투자)를 유발할 것을 고려하면 수전해 장치에 대한 세계 수요가 확대될 것으로 보이며, 이러한 수요 확대를 기반으로 원가 절감도 이루어질 것으로 보임.

- 일본으로서는 자국 내의 탈탄소화 과제를 해결하는 동시에 수전해 장치의 세계 시장 개척 차원에서도 수전해 장치 기술 개발에 주력할 것으로 보임.
- 예를 들면 아사히화성은 NEDO(신에너지·산업기술종합개발기구)가 후쿠시마에 실험적으로 설치한 세계 최대급의 그린 수소 제조 플랜트에 10MW급의 알칼리 수전해 장치(1,200Nm<sup>3</sup>/시간의 수소 생산 가능)를 납품(닛케이 일렉트로닉스, 2021.1)
- 아사히화성의 설명으로는 이는 유닛 단위로 10MW급이며, 이를 조합하면 100MW 및 그 이상 규모의 시스템을 공급할 수 있다고 함.
- 아사히화성은 화학기업으로서 수십년간 식염전해 기술을 개발 및 개선해 왔으며, 이를 기반으로 NEDO의 지원도 받으면서 수전해 장치 개발에 주력해 왔음.
- 동사는 수전해 장치의 비용 절감 연구개발에 주력 중이며, 북유럽의 수력발전의 경우 2~3엔/kWh도 가능할 것으로 보여 이 수준에서는 천연가스를 개질해서 만든(CCUS 없는) 수소제조비용 20엔/Nm<sup>3</sup>과 비슷한 수준을 실현하여 설비의 감가상각 이후에는 더욱 비용을 줄일 수 있을 것으로 보고 있음.
- 아사히화성은 일본뿐만 아니라 재생에너지 여건이 좋은 유럽에서의 시험 프로젝트에 적극 참여, 독일의 탄광 지역(헬텐)의 재개발 프로젝트에도 참여
- 재생에너지의 발전 변동성 등에도 대응하면서 비용에 큰 영향을 주는 설비가동률의 제고 노력 등 고객의 패턴, 수요에 맞는 장치의 운영 시스템 개선 방안을 모색
- 또한 원가 절감을 위해 동사는 수소 제조비용의 70~80%를 차지하는 전력비용을 줄일 수 있는 장치 기술의 개발에 주력
- 운전 전류밀도(A/cm<sup>2</sup>)가 들쭉날쭉한 넓은 범위에 있으면서도 높은 에너지 전환효율을 달성할 수 있도록 전극을 개선
- 전극이나 막 등의 재료 개발에도 주력, 유지 보수 관리 비용을 삭감할 수 있도록 하는 개선에도 주력하면서 적극에 관해서는 오랫동안 석유화학 사업에서 축적해 왔던 촉매 기술을 응용, 막에 관해서는 세계최고 수준의 리튬이온전지용 분리 막 기술을 활용

- 대용량화를 통한 비용 절감과 함께 정확도가 높은 수분해 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 구축해서 기기 및 사양의 최적화, 자동제어에 의한 관리 비용 최소화에 주력
- 한편 도시바의 경우 수소 제조용 차세대 수전해장치인 SOEC(Solid Oxide Electrolysis Cell : 고체산화물형 수전해)의 개발에 주력 중이며, 이는 기존 방식 대비 전해효율이 30% 높아질 것으로 기대되고 있음.
  - SOEC는 가스를 차단하고 이온을 통과하는 전해질의 양면에 수증기에서 수소를 발생하는 수소 극과 산소를 발생하는 산소 극을 형성한 구조로 되어 있음.
  - 전극 재료에는 전자( $e^-$ )와 산화물이온 ( $O_2^-$ )의 전도성이 요구됨. 이 때문에 일반적으로 고온 환원 조건에서 수소극에 니켈(Ni) 등의 금속과 산화 세륨( $CeO_2$ )계 산화물을 혼합한 재료뿐만 아니라 고온 산화 환경의 산소 극은 페로브스카이트형 란탄 코발트 산화물 ( $LaCoO_3$ ) 계의 재료가 이용됨. 또한, 산소극은 지르코니아 ( $ZrO_2$ )계 전해질 재료와 반응해 버리는 상황을 피하기 위해 둘 사이의 직접적인 접촉을 피하기 위해 반응 방지층을 마련하고 있음.
  - 동사는 NEDO와의 개발 프로젝트에서 고온수증기 전해법을 적용한 수소 제조 시스템, 전력 저장 시스템의 중요요소인 SOEC 셀 스택 및 고온 모듈 구조재의 기술 개발을 하고 SOEC 셀의 각 부분(수소극, 산소극, 전해질) 및 스택 부자재(seal재, 집전재, Cr 비산 방지 피막)의 열악화 메커니즘을 해명, 고온 모듈 구조재의 열악화 영향 요인 추출 및 영향 평가, SOEC 운전 조건이 스택의 열악화에 미치는 영향도를 밝혔음.
  - 이러한 성능 열악화 요인을 밝힘으로써 높은 내구성을 가진 SOEC 셀 및 스택 부자재의 설계 지침을 책정할 수 있게 되고 SOEC 시스템의 약점인 내구성 문제 해결에 기여
  - 산소극/반응 방지층/전해질계 측면에서는, 반응 방지층/전해질 사이에서 두 구성 원소의 미량의 상호확산이 일어나 반응 방지층 중에 확산 된 미량의 전해질 원소와 산소 음극 재료 원소가 반응하여 고 저항 상을 형성하고 이것이 산소극의 성능 저하를 일으키는 것을 발견

- 또한 수소극 쪽은 수소극/전해질 계면에서 수소극  $\text{CeO}_2$ 계 산화물 중 세륨(Ce)가 전해질 중에 확산하고 수소극/전해질 계면에서 간격이 발생하여 수소 극의 성능 저하를 일으키는 것을 발견
- 이러한 열악화 요인에 대한 개선책을 실시, 산소극 측에서 일어나는 산소극/반응 방지층/전해질 계면 상호 확산과 고저항상 형성을 억제함으로써 열악화 비율을 기존 유형의 셀의 1/3((1,000h 당 0.3% 이하)로 감소. 또한 동시에 수소극/전해질 간의 구성 성분의 확산 억제하고 셀의 초기 성능을 향상시키는 데 성공(高効率と長寿命を実現した水素製造用SOEC, 東芝レビュー Vol. 75 No. 1, 2020年1月)

□ 수전해 장치의 코스트 절감 방안으로서는 △ 장치의 대형화 및 모듈화 △ 막이나 촉매 등의 요소기술의 개량 △ 수전해장치의 가동률 향상에 도움이 되는 운전기술의 개선 등에 주력 △ 잉여전력을 탄력적으로 저가격으로 유통하는 제도 등을 강화해 저렴한 전력의 공급(수소·연료전지전략협의회 제25차 회의, 중간정리, 2021.3.22.)

○ 수처리용 분리막 기술에 강점을 가진 도레이는 낮은 전압에서도 잘 기능하는 전극접합체 막을 개발해 전력 사용 억제, 원가 절감 효과를 거두고 있음.

□ 현재 개발에 주력하고 있는 수전해 장치와 함께 차세대 수소 제조 기술로서 태양에너지를 전기로 바꾸지 않고 직접 수분해 해서 수소를 제조하는 광촉매 기술의 개발도 모색, 이것이 차세대 수소제조 기술이 될 것으로 기대되고 있음.

○ 오카야마대학의 타카구치 유타카(高口 豊) 연구교수 등은 화석연료를 사용하지 않고 탄소배출 없이 해수( $\text{H}_2\text{O}$ )에서 광촉매 기술을 활용해 수소( $\text{H}_2$ )를 제조하는 기술을 2014년에 이미 개발, 지속적인 개량과 상업화 위한 산학연계 모색 중

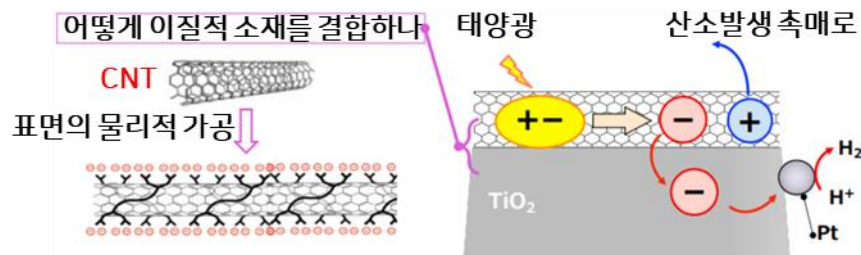
○ 인공광합성에도 이용할 수 있는 광촉매 기술을 개발한 것이며, 태양광 에너지를 직접 활용하기 때문에 태양광을 전력으로 전환한 후 물의 전기분해로 수소를 생산하는 현재의 방식보다 이론적인 효율성이 훨씬 높음.

○ 탄소 소재인 CNT를 광촉매로 활용, CNT의 반도체 특성 활용해 가시광, 근적외선광으로 전하(電荷) 분리 압력을 가해서 해수를 분해해 수소를 생성



- CNT를 광촉매로 활용하기 위해 필요한 전자 추출 재료에 2014년에는 C66를 사용했었으나 2020년 논문에서는 보다 효율이 높고 저비용인 금속산화물의  $\text{TiO}_2$ 를 활용, 독자기술로 양소재의 결합 성공, 이 기술은 수소의 저장 및 운반에도 유효

<그림24> 오카야마 대학의 CNT 광촉매 수소 제조 기술



자료 : 오카야마대학교

- 한편, 태양광, 전기 등 외부의 에너지를 전혀 투입하지 않고 물과 촉매만으로 수소를 생성하는 기술을 개발한 스타트업 기업인 Hydrogen Technology(본사 도쿄)도 상업화에 주력 중이며, 이 회사가 만드는 수소를 활용해서 수소발전소를 건설하려는 프로젝트도 진행 중에 있음(일본경제신문, 2021.4.22.)
- 수소를 자율적으로 저렴하게 생산하여 이 수소를 연소함으로써 일본 최초로 수소발전소를 상업적 가동하려는 프로젝트이며, 이 발전 프로젝트의 발전사인 이렉스사에는 도쿄증시 1부 상장기업인 히카리통신, 태평양시멘트, 스미토모부동산 등이 출자 중임.
- Hydrogen Technology와 이렉스의 보도자료(国内初 水素専焼発電所 商業運転化へ着手, 水素供給に関する共同事業開発検討に関する覚書締結, 2021.04.22.)에 따르면 다음과 같음.
  - 프로젝트의 1단계에서는 Hydrogen Technology의 기술을 활용해서 수소발전을 실시하기에 충분한 수소생산을 연속적으로 할 수 있을 것인지 실증하기 위해 도쿄전력 파워그리드사의 부지 내에 300kw급의 대형 수소발전소의 개발에 착수하고 2021회계연도 중의 가동에 주력, 수소공급량 및 비용절감 효과 등을 검토함.

- Hydrogen Technology사가 이미 설치한 수소생산 공장의 경우 면적 23.6평에서 108kg/h의 수소를 생산해 6기의 수소 저장 탱크에 저압으로 수소를 충전. 3.03 평의 공간만 확보하면 수소를 계속 생산할 수 있으며, 각종 공장, 발전소, 가스 회사 등의 부지에 수송 과정을 생략해서 수소 생산설비의 설치가 가능
- 동사의 이 수소 생산 기술은 2018년 8월 29일에 공개된 야마모토(山本 泰弘) 사장의 특허 정보(일본 특허청, 특허제 6381143호)에 따르면 일반 수돗물 등을 Terahertz 광석을 통과시켜서 개질 하여 알루미늄과 함께 반응용기에 넣고 상온 상태에서 서로 반응시켜서 수소를 발생시키는 간편한 것이며, 수소의 원가 절감 효과가 기대되고 있음.

#### <그림25> Hydrogen Technology의 수소 제조 시스템



자료 : Hydrogen Technology의 홈페이지

#### (2) 각 산업에서의 CCUS 활용 기술개발 방향

- 각 산업의 탈탄소화 전략이 가속화되고 있는 가운데 배출되는 CO<sub>2</sub>를 포집하여 이를 재활용하는 사업도 점차 현실화되고 있음.
- 지구의 온도 상승을 억제하기 위해서는 CO<sub>2</sub>등의 온실효과 가스의 신규 배출을 제로로 하는 것만으로는 부족하며, 이미 배출된 CO<sub>2</sub>를 포집하여 대기를 개선하는 기술과 사업이 필요함.

- 이를 위한 기존의 CCS(Carbon Dioxide Capture Storage), 즉, CO<sub>2</sub>를 포집하여 땅 속에 매장하는 것은 사업성 확보의 어려움이 있는 것이 사실이며, 이에 따라 포집한 CO<sub>2</sub>를 각종 사업의 원료로 활용하는 리사이클 비즈니스의 발전과 이를 뒷받침하는 기술개발이 중요
- 이와 같이 CO<sub>2</sub>를 자원으로 활용하는 기술로 탄소 중립 사회를 실현 하기 위한 핵심 기술이며, 일본정부는 일본에 경쟁력이 있다고 평가(일본정부 합동, 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.)
- 탄소 재활용 산업으로서는 광물(콘크리트 제품, 콘크리트 구조물, 탄산염, 시멘트 등), 연료 (조류 제트 연료, 조류 디젤 연료, 합성 연료, 바이오 연료, 메타네이션에 의한 가스 연료 등), 화학 (폴리카보네이트나 우레탄, 바이오매스 유래 화학, 올레핀 및 파라자일렌 등 일반 물질) 등의 주요 분야 등 다방면에 있음.
- 일본정부는 이러한 주요 제품을 중심으로 비용 절감과 용도 개발을 위한 기술 개발, 사회 실용화 등을 추진, 탄소 재활용을 위한 산학관 국제회의 등도 활용하면서 글로벌하게 전개
- 예를 들면 이산화탄소를 흡수한 건설용 콘크리트가 이미 실용화 되었지만 여러 가지 한계 때문에 시장이 제한적이며, 앞으로 기술적인 과제의 해결이 모색됨.
- 현재의 이산화탄소 흡수 콘크리트의 가격은 기존 콘크리트의 약 3 배인 100엔/kg이며, 비용 절감이 과제
- 또한 탄소 흡수로 인해 콘크리트의 산화가 진행되기 쉽고 녹슬기 때문에 용도가 한정된다는 문제의 해결에 주력
- 이를 위해 공공조달을 통해 수요 확대, 양산체제 강화로 원가 절감에 주력
- 2030년에 기존 콘크리트와 동일한 가격인 30엔/kg을 목표로 하며, 2050년에 방청성을 가진 신제품을 건축 용도로도 사용 가능하도록 함.

○ 시장 규모는 2030 년 현재 세계에서 약 15~40조엔을 전망

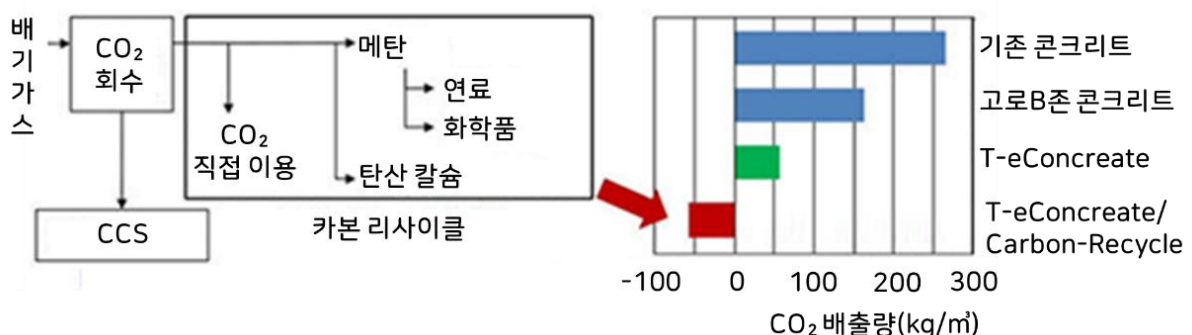
□ 타이세이건설은 친환경 콘크리트인 'T-eConcrete'를 개발, 이는 제품에 투입되는 이산화탄소량이 제품생산 과정에서 배출되는 이산화탄소량 보다 많으며, 실질적으로 탄소 마이너스를 달성한 제품임(大成建設株式会社, カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発 環境配慮コンクリート製造過程におけるCO2収支マイナスを実現, 2021年2月16日)

○ 이산화탄소를 회수하여 탄산칼슘으로 전환하여 이를 콘크리트 내부에 주입하는 이산화탄소를 고정 하는 데에 활용

○ 이 제품은 회수한 이산화탄소로 제조 된 탄산칼슘을 제강 부산물인 고로 슬래그 주체의 결합재에 의해 고화(固化)시킴으로써, 콘크리트 내부에 이산화탄소를 고정하는 탄소 재활용 콘크리트를 개발

- 회수한 이산화탄소를 제조 시에 직접 콘크리트에 흡수시키지 않아서 强알칼리성을 유지해 콘크리트 내부에서 철근의 부식을 방지 할 수 있으며, 철근 콘크리트 구조물의 내구성을 유지함.
- 일반적인 콘크리트와 동등한 강도, 시공성을 발휘, 특수 장비를 사용하지 않고 레미콘 공장의 일반 시설에서 제조가 가능함.

<그림26> 타이세이건설의 탄소 재활용 콘크리트 개요



주 : CO<sub>2</sub> 1kg를 흡수한 탄산칼슘의 제조에서 0.5kg의 CO<sub>2</sub> 배출

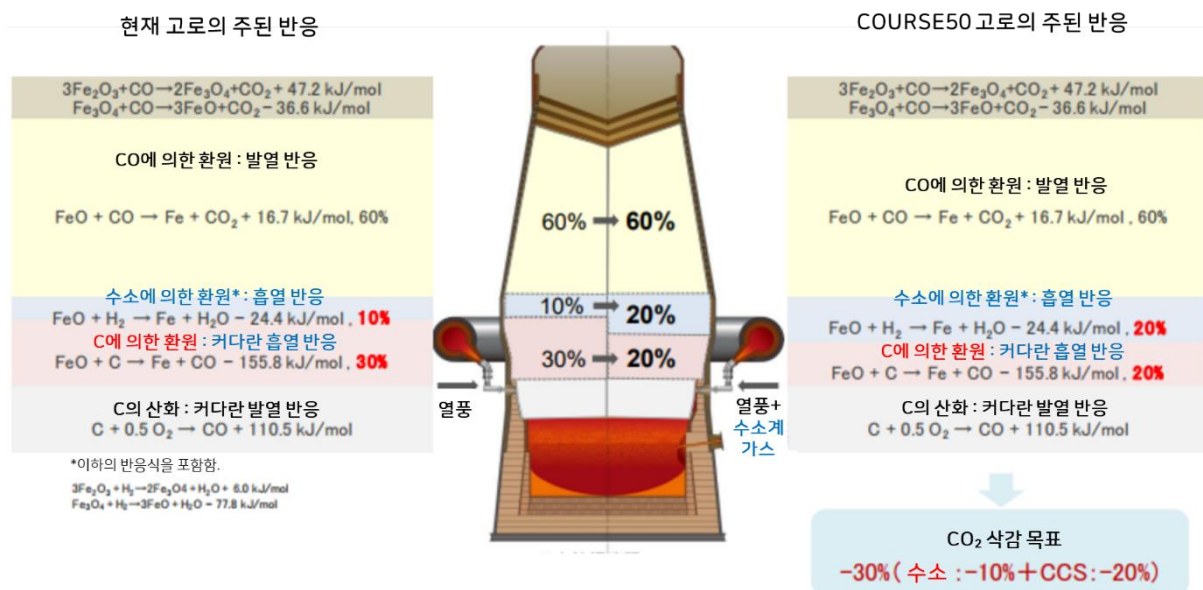
자료 : 大成建設株式会社, カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発 環境配慮コンクリート製造過程におけるCO2収支マイナスを実現, 2021年2月16日)

### (3) 철강 산업의 탈탄소화 기술혁신 사례

- 철강 산업은 카본프리 전력을 이용한 전기로법이나 카본 프리 수소를 이용한 용광로법에 의해 세계에 앞서서 '제로 카본 스틸' 관련 기술을 개발·공급함으로써 2050년 시점에서 최대 약 5억톤/년(약 40조엔/년)으로 전망되는 세계 그린 스틸(수소 환원 제철법, 고로+ CCUS, 탄소 재활용 등의 합계)의 시장을 개척해 나간다는 것이 일본의 방향임(일본정부 합동, 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.).
- 구체적으로는 철강 산업의 환원 용해 공정에서는 현재 생산성이 높고 에너지 효율이 뛰어난 고로를 활용하여 수소를 이용하여 철광석을 환원하고, 고로 배기가스에 포함된 CO<sub>2</sub>를 분리·회수, 환원제로 전환하여 활용함으로써 제철 과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub>배출을 줄일 수 있는 기술을 개발함.
- 또한 2050 년까지의 탄소 제로 철강의 실현을 위해 수소만으로 철광석을 환원할 수 있는 '수소 직접 환원법'의 실현을 위한 기초기술의 개발에 주력함.
  - 예를 들면, ① 철광석의 환원에 필요한 용광로 내부의 열 보상 기술 ② 원료에 포함된 불순물을 제거하는 기술 ③ 환원철의 용해에 필수적인 전기로의 고도화 기술 등의 개발에 주력
  - 또한 고로법에 비해 CO<sub>2</sub>배출량을 줄일 수 있는 전기로의 대형화를 가능케 하는 기술개발에 주력하여 비용 경쟁력을 높이면서 이산화탄소 감축에 주력함.
- 용해, 압연 공정에서는 많은 전력을 필요로 하는 전기 분해의 전력 절감 및 화석 연료를 이용한 가열 에너지의 재생에너지 전기 전환 등의 탈탄소 기술을 개발함.
  - 일반적으로 전기화로 인해 에너지 효율은 화석 연료보다 떨어지지만 열전도 효율의 개선 등을 통한 에너지 절약화를 통해 제조 공정의 비용을 절감함.
- 일본 철강 업계는 탄소 제로 철강 생산체제 구축을 위한 첫 단계로서 제철소에서 발생하는 CO<sub>2</sub>의 약 30%를 절감하는 COURSE50(CO<sub>2</sub>Ultimate Reduction System for Cool Earth 50 : 일본제철, JFE 스틸, 고베제강 등이 참여)

- 이는 산화철을 환원하기 위해 사용하는 코크스의 일부를 대체하여 ① 수소를 활용한 철광석의 환원 기술(고로 수소 환원 기술)을 개발
- 또한 CO<sub>2</sub>를 다량 함유 용광로 가스에서 CO<sub>2</sub>를 분리하기 위해 제철소 내 미사용 폐열을 이용한 ② CO<sub>2</sub>분리·회수 기술의 개발에 동시에 주력
- 고로에서 화석자원인 코크스를 줄여 수소를 늘려 갈 경우 용광로 내부의 가스 통과가 어려워지고 발생 열이 감소해 각종 재료의 용융이 어려워지는 문제가 있어서 기술적으로 쉽지 않는 측면이 존재
- 이에 따라 COURSE50에서는 C(탄소)에 의한 환원(큰 흡열 반응)을 줄이고, 수소 환원 (작은 흡열 반응)을 늘림으로써 열 보상하면서 CO<sub>2</sub>를 절감
- 일본제철 등의 일본 철강사들은 이 COURSE50 연구개발의 성과를 실제 생산 공장에 도입하면서 2030년 정도로 생각했던 상용화 시기를 2020년대 중으로 앞당기는 한편, 수소의 반응 비율을 단계적으로 높이면서 배출되는 탄소를 포집해서 활용하는 기술을 고도화 하는 Super COURSE50 계획도 앞당길 전망
- 그리고 수소만으로 용광로를 운영하는 수소환원 제철법의 상용화를 앞당길 전략임.

<그림27> COURSE50 프로젝트가 지향하는 차세대 제철법



자료 : 日本製鉄株式会社, 鉄鋼業における水素利用, 2021年2月9日

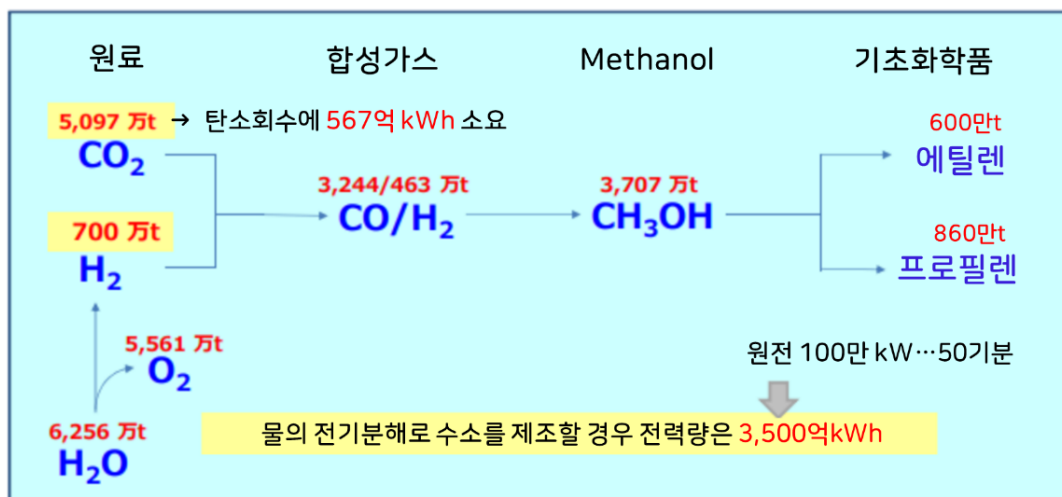
- 고로 내에서 수소가스의 이동 효율이 떨어지는 기술적 과제 등을 해결하기 위해 수소환원 가스의 주입 조건, 형태, 고로내의 구조 분석 등을 실험과 함께 컴퓨터 시뮬레이션 등을 통해 최적의 조건을 탐색하는 데 주력
- 수소 환원 가스의 주입 조건, 고로내의 이동 경로의 최적화 등에 주력하면서 철광석 등 각종 원료의 형상, 주입 형태 등의 측면에서도 최적의 조건을 탐색하면서 효율성 제고 주력
- 물론, 수소 환원 제철법의 어려움을 감안하면서 제철과정에서 배출되는 이산화탄소의 포집 및 활용(CCUS) 기술의 고도화, 원가절감 노력도 병행될 것으로 보임.
- 탄소중립화 과정에서 공법의 탈탄소화와 CCUS의 기술적 진척도, 비용 우위성을 고려하면서 양 기술을 혼합적으로 활용해 나가면서 궁극적으로 탄소 제로화를 모색

#### (4) 석유화학 산업의 탈탄소화 기술혁신 사례

- 석유 화학 단지의 생산 공정을 탈 탄소화 하는데 있어서 일본정부는 수소와 암모니아 등의 연료 특성에 맞춘 나프타 분해로(分解爐) 기술의 개발을 실시하겠다는 입장을 밝히고 있음(일본정부 합동, 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.).
- 일본 화학회사는 이미 나프타 열 분해 공정(화학 산업 이산화탄소 배출의 약 16%)에서 화석연료 에너지를 수소나 전기로 대체하는 방안을 모색 중임.
- 또한 증류 공정(화학 산업 이산화탄소 배출의 약 44%)의 저탄소화를 위해 히트 펌프나 막 분리를 이용하는 기술을 모색
- 이와 함께 배출되는 이산화탄소를 포집 하는 CCUS, 배열의 이용도 확대 등의 저탄소 기술의 개발에 주력

- 석유 화학 단지 내의 기업 간에서 열에너지를 서로 융통하는 등 기업 간 협력을 촉진하고 석유 화학 단지 전체의 탈탄소화에 주력함.
- 석유 화학 단지가 수소 및 합성 연료 등 새로운 연료 공급의 거점이 될 수 있도록 뒷받침함.
- 다만, 석유화학산업의 경우 생산 공정에서의 연료를 탈탄소화 하는 것만으로는 한계가 있으며, 기본 원료인 석유를 대체해서 화학제품을 생산하는 공법의 개발이 궁극적으로 모색됨.
- 탈석유 기술로서는 수소를 활용하는 공법과 함께 바이오 프로세스에 관한 연구가 추진되고 있음.
- 수소와 이산화탄소로 메탄올을 생산해서 메탄올에서 석유화학의 기초 원료인 에틸렌 및 프로필렌을 생산하는 MTO(Methanol to Olefin) 공법의 개발을 모색

<그림28> 탄소와 수소를 원료로 한 석유화학 신공법 구도



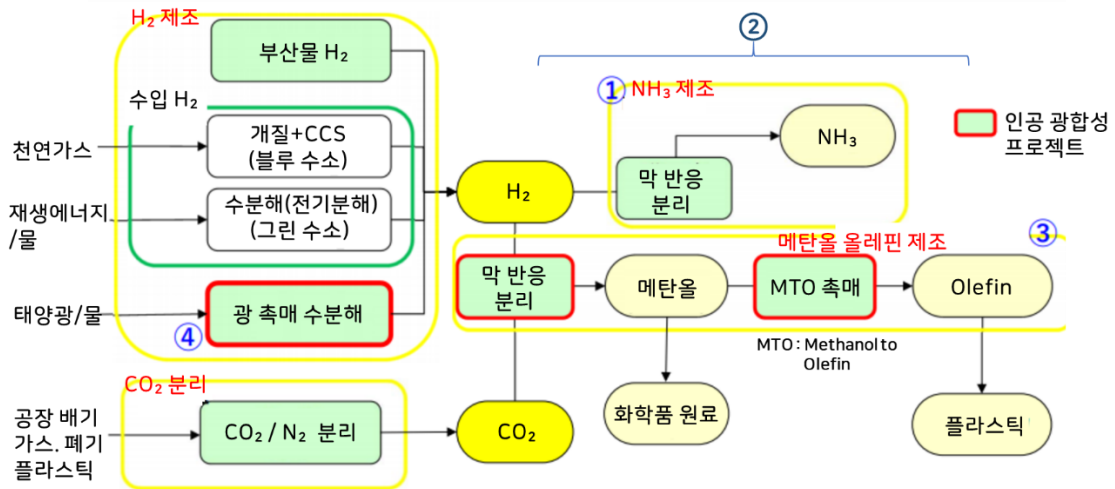
주 : 일본 화학 산업의  $\text{CO}_2$ 배출은 연간 6,500만톤,  $\text{CO}_2$ 회수 에너지량은 4GJ/t- $\text{CO}_2$ 의 현행 수준을 가정. 이 경우의 204PJ의 필요 에너지량을 전부 전력으로 조달할 경우를 가정해서 탄소회수 에너지량 567 10,000 kWh를 산출

자료 : エネルギー総合工学研究所, 「IoE社会のエネルギーシステム」エネルギーマネジメント研究会 産業・熱低炭素化研究検討グループ成果報告書, 2020.3.31.



- 이는 촉매 및 공정 개발이 관건이지만, 예를 들어 일본의 연간 에틸렌 생산량인 약 600 만톤, 프로필렌 860만톤을 회수한 CO<sub>2</sub>와 수소를 원료로 메탄올을 중간체로 제조하는 경우, 원료의 필요량은 CO<sub>2</sub>가 연간 약 5,100만톤, 수소가 연간 700만톤(エネルギー総合工学研究所, 「ItoE社会のエネルギーシステム」エネルギーマネジメント研究会 産業・熱低炭素化研究検討グループ成果報告書, 2020. 3.31.)에서 695만톤(経済産業省 資源エネルギー庁新エネルギーシステム課/水素・燃料電池戦略室, 今後の水素政策の課題と対応の方向性 中間整理(案), 2021年3月22日)이 소요될 것으로 추정되고 있음.
- 수소를 연간 700만톤 정도 탄소중립 수분해 공법으로 조달할 경우 필요한 재생 에너지 전력은 3,500억 kWh/년 정도이며, 이는 원자력 발전소 50기 분에 해당, 일본의 연간 소비 전력의 약 3분의 1이라는 막대한 규모가 됨.
- 그리고 일본 경제산업성은 이 공법이 수익성을 확보할 수 있는 한계 수소 가격을 18.5엔/Nm<sup>3</sup>(신규 설비비용 등은 시산에서 제외)으로 시산, 이는 현재의 일본 내 수소 유통가격인 약 100엔/Nm<sup>3</sup>(화석연료로 주로 생산, 그린 수소는 더 높은 수준)과 비교해서 쉽지 않는 비용 절감 기술이 필요
- 미쓰비시케미컬의 경우 자체적으로 수소를 조달하는 전략을 책정하면서 단기적으로는 천연가스 유래의 블루수소나 재생에너지를 활용한 수분해로 그린수소를 조달하는 한편 궁극적으로 광촉매로 수소를 생산하는 인공 광합성 플랜트를 자사 화학공장에 건설해 탄소 중립형 화학제품 생산 프로세스를 구축할 방침임.
- 차세대 생산 시스템의 핵심이 될 광촉매 기술의 개발을 위해 동사는 산학관 연구 프로젝트에 주력하면서 2019년에 에너지 전환 효율 7% 수준 달성(식물의 광합성의 경우 0.2~0.3% 수준)

<그림29> 미쓰비시케미컬의 수소 활용 차세대 화학 생산 프로세스 혁신 방향

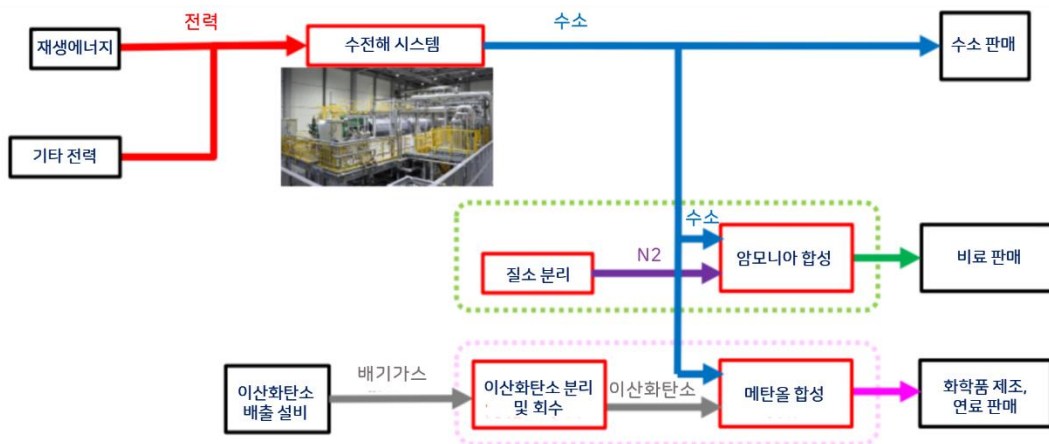


- ①  $N_2 + H_2$ 에 의한 반응 분리막을 사용한 암모니아 제조 프로세스(수소 수요) ② 화학품 제조용 연료로 수소 사용(수소 수요)  
③ 이산화탄소와 수소를 원료로 하는 기초화학품의 제조(수소 수요) ④ 광 촉매를 이용한 수분해로 수소를 제조(수소 공급)

자료 : 三菱ケミカル株式会社, 三菱ケミカルー水素への取り組み, 第21回水素・燃料電池戦略協議会, 2021.2.19.

- 미쓰비시케미컬은 NEDO, 동경공업대학 등과 더불어서 인공광합성 화학 프로세스 기술연구조합(ARPCChem)을 통해 수소에서 생산한 메탄올에서 올레핀을 생산할 수 있는 내구성을 가진 제오라이트 촉매를 개발해 2017년에 소형 Pilot 공장에서의 성능 실험에 성공, 현재 스케일 업에 주력 중임.
- 이 MTO 공정의 핵심 기술은 제오라이트 촉매이며, 이 제오라이트는 알미나케 이酸鹽(Aluminosilicate) 중에서 결정 구조에 세공(細孔)을 가진 것임.

<그림30> 아사히화성의 수전해 장치 활용한 지속가능한 화학 사업구조

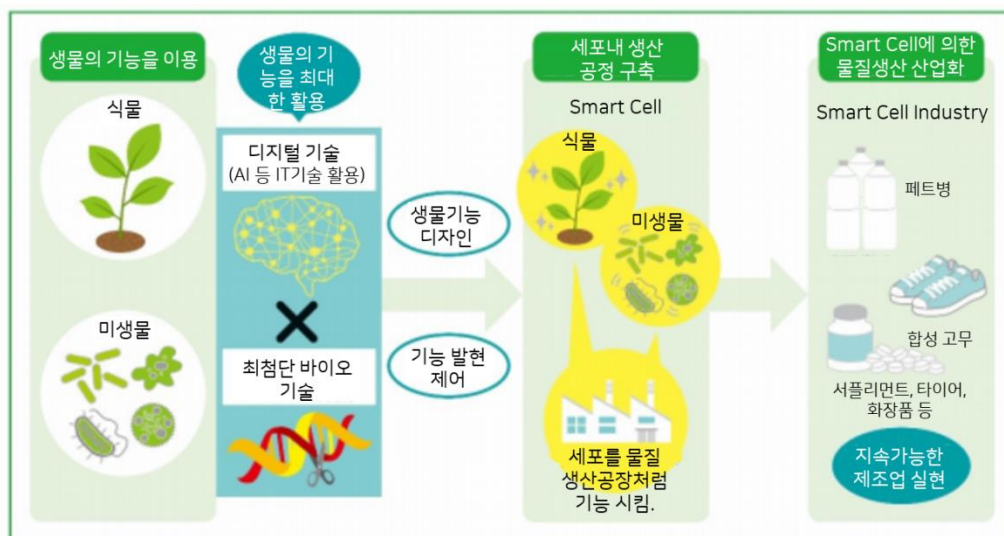


자료 : 旭化成株式会社 執行役員 竹中 克, カーボンニュートラル社会の実現に向けた旭化成の取組, 第22回 水素燃料電池戦略協議会, 2021.3.2.

- 이 촉매는 고체 Al MAS NMR 해석법(알루미늄 핵의 NMR-자기공명장치의 Spectrum을 측정함으로서 알루미늄의 화학적 환경의 차이를 조사하면서 개발되었으며, 잘 알려진 촉매와 달리 스팀 처리 후라도 제올라이트의 골격내에서 알루미늄의 안정성을 확보해 소형 Pilot 플랜트의 500도의 고온 상태에서도 촉매 기능이 유지됨.
- 또한 아사히화성은 이산화탄소를 분리 및 회수하여 수소와 결합해서 메탄올을 합성하는 메타네이션 기술 개발 및 사업에도 주력 중이며, 수분해 장치와 CCUS, Methanation을 연계해 화학소재를 생산하는 화학공정의 탈탄소화 전략도 연계적으로 추진
- 또한 수소와 암모니아를 합성하여 비료를 생산하는 전략과도 연계
- 미생물 등의 생물자원과 이산화탄소를 원료로 활용한 바이오 플라스틱 생산 등 바이오 화학 프로세스의 개발도 모색되고 있음.
- 일본정부는 바이오매스 자원을 이용한 바이오 제조업 육성 차원에서 게놈 편집 등의 기술을 활용하면서 화학 등의 산업용 미생물을 개발에 주력
- AI 등에 의한 효율적인 생산 공정의 개발 · 실증 등을 실시
- 향후 10 년간의 집중적인 노력으로 이들 공법의 비용 절감에 주력하여 2035년 까지 상업적으로 생산 가능한 화학 물질의 종류·기능을 확대하고 생산규모를 대형화함.
- 대기 중의 CO<sub>2</sub>를 원료로 이용하는 바이오 제조업은 배양에 적합한 미생물 종의 개발 등을 통한 기반 기술을 확립하고 2040 년경부터 상용화를 목표로 함 (일본정부 합동, 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.).
- 국립연구개발법인 신에너지·산업기술총합개발기구(NEDO)의 경우 식물 및 미생물에서 공업재료를 생산하는 혁신적 바이오 기술의 개발에 주력(스마트 셀 프로젝트, 2016~2020년의 5년간 기반기술의 개발에 주력), 앞으로 이를 발전시키면서 기술의 구체적 활용에도 주력할 것으로 보임.

- 이를 통해 식물의 생산성 제어 관련 공통기반기술로서 △ 게놈편집기술(도쿠시마대학, 메이지대학, 산업기술종합연구소, 쓰쿠바대학 등) △ 대사계 유전자 발현기술(카즈사DNA연구소, 교토대학 등) △ 재배 및 생육환경에 의한 발현제어 기술(지바대학, 북해도과학기술종합진흥센터 등) 등을 개발
- 고생산성 미생물 제조에 도움이 되는 IT기술의 개발로서 오카야마대학, 인테크사, 신슈대학, 카오, 아지노모토, 미쓰비시케미컬, 히타치제작소 등이 연구에 참여해 △ 고생산성 합성·분석·평가 수법의 개발 △ 고생산성 미생물 설계시스템의 개발 △ 고생산성 미생물의 제조에 도움이 되는 정보 분석 시스템의 유효성 검증 등의 성과 창출

<그림31> NEDO의 Smart Cell 프로젝트의 개요

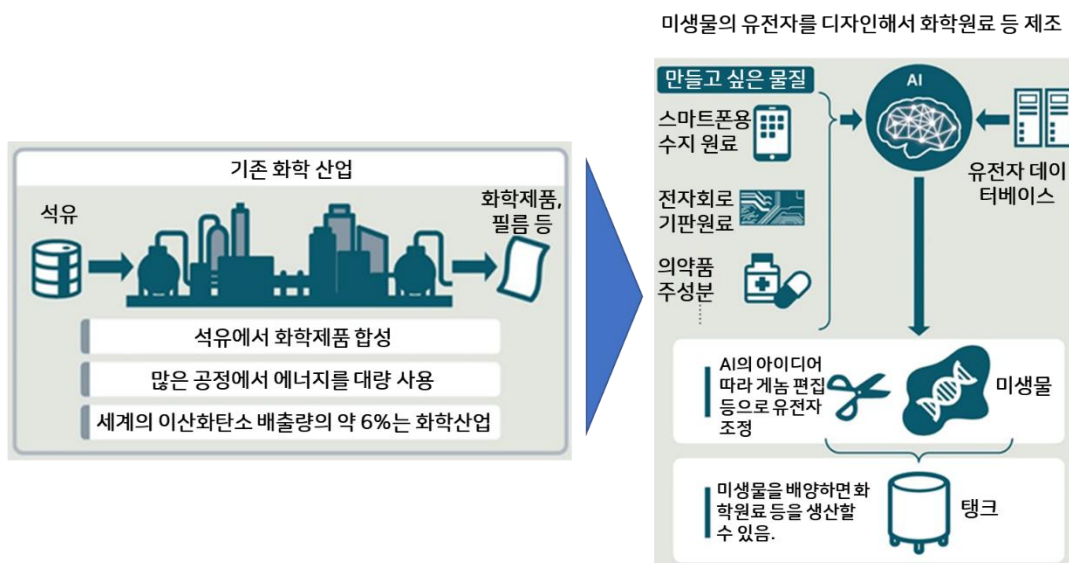


자료 : NEDO, 스마트셀·프로젝트 成果集, 2020.10.

- 식물에 의한 고기능 화합물 생산기술로서 △ 식물의 대사기능의 다단계 개편과 고효율 배양으로 비타민 D3의 고효율 생산시스템 개발(기린맥주, 타케나카건설, 오사카대학 등) △ 식물 유래의 의약품 원료를 식물공장에서 생산하는 기술 플랫폼 구축, 식물의 대사 기능 강화 유전자의 조작 등(아지노모토, 교토대학 등) △ 세계적 과제인 감자 해충(PCN) 퇴치를 위해 땅속에 감자 성분이 없는 시점에서 해충의 부화를 촉진(해충의 아사 유도)하는 PCN-HF 합성을 위한 대사 유전자를 기계 학습으로 탐색, 유전자 조작으로 PCN-HF를 대량생산하는 식물체 창출(호쿠산, 산업기술종합연구소)

- 미생물에 의한 고기능 화학품 생산기술 개발로서 △ 썩 모양의 균인 *Trichoderma reesei*를 이용해서 바이오매스 당화(糖化) 효소를 개발하는 데 있어서 유전자 제어 기술개발, 바이오 원료 종류별로 최적의 효소를 Bio Refinery에 공급 가능(나가오카기술대학, 카오, 산업기술종합연구소 등) △ Terpene 종류 등 여러 Isoprenoid 화합물을 고효율로 생산할 수 있는 미생물을 개발하기 위해 단백질을 생성하는 유전자 배열 설계 기술 개발, 단백질 생산량과 높은 상관관계를 나타내는 mRNA의 2차구조 형성도( $\Delta GUH$ )와 CAI(Codon Adaptation Index)라는 배열 특징량을 지표로 활용하는 기술의 개발(미쓰비시케미컬, JSR, 산업기술종합연구소)
- 식물이나 미생물은 외부에서 대량의 에너지를 주입하지 않아도 다양한 화합물을 만들 수 있으며, 이러한 기능을 활용한 바이오 플라스틱이 일본에서도 보급되고 거대 식품회사의 PET 보틀 등에서 보급이 확대 중이며, 일본은 바이오 공법의 효율을 높이기 위해 유전자 편집기술과 이를 뒷받침하는 AI 기술의 개발에 주력하고 있다고 할 수 있음.
- 바이오, 유전 공학, AI기술 등을 결합하여 Smart Cell 공장 기능을 개발하게 되면 화학제품 등의 효율적이고 환경 친화적인 생산이 가능하게 되는 것임.

<그림32> 미생물의 유전자 디자인 기술로 화학산업을 개편



자료 : 일본경제신문, 2021.5.24.

- 스미토모화학의 경우 미국의 스타트업 기업과 제휴 관계를 맺고 모바일 기기에 사용하는 고기능 필름을 유전자 편집에서 개량한 미생물로 만드는 기술을 확립했으며, 2021 년도 중에 대기업의 단말기에 탑재될 가능성이 있는 것으로 보도되고 있음(일본경제신문, 2021.5.24.).
- 스미토모화학이 개발한 것은 'Hyaline'이라는 필름 소재이며, 이는 두께 수십 마이크로(마이크로는 100만분의 1)미터의 무색투명한 수지이며, 스마트폰 등의 터치 패널에 사용하는 필름재료가 될 수 있음.
- 스미토모화학은 미국 캘리포니아 주에 본사를 둔 나스닥 상장기업인 Zymergen과 미생물을 이용한 제조 기술을 개발
- 미생물이 탄분 등을 먹고 만드는 다양한 물질의 데이터베이스를 Zymergen이 보유하고 있으며, 이를 기초로 AI, 게놈 편집 등의 기술을 이용하여 Hyaline을 개발하는 데에 성공
  - Zymergen이 AI의 아이디어에 기초해서 유전자의 작용을 변경하는 게놈 편집을 해서 미생물이 효율적으로 화합물을 생산할 수 있도록 했음.
  - 개발된 필름은 기존 석유화학 공법의 제품보다 투명성이 높다고 하고 내구성, 전기 흐름의 원활함 등의 부가 기능도 있어서 폴더블 폰의 보호 필름용으로서 부착해도 보다 좋은 성능을 유지할 수 있다고 함.
- 스미토모화학은 바이오화학을 통해 탄소중립화를 추구할 뿐만 아니라 석유화학으로는 확보할 수 없는 고성능 부가가치도 앞으로 개발해 나가겠다는 전략임.
- Zymergen는 자사의 시설에서 로봇을 활용하면서 월간 수천번이나 미생물의 유전자를 변이시키면서 관련 데이터를 축적하고 있으며, 화학기업 등의 목적에 따라 물질을 효율적으로 생산할 수 있는 유전자 편집 미생물을 신속하게 찾을 수 있는 체제를 구축 중임.
- 동사에 따르면 석유화학 기반의 재료를 사용하는 기업보다도 절반의 시간, 보다 낮은 비용으로 신제품을 생산할 수 있다고 강조

- 미국에는 Zymergen 이외에도 미생물로 바이오화학품을 제조하려는 스타트업으로서 Ginkgo Bioworks(독일 바이엘, 스위스 로시와 제휴), Amyris(일본 클라레, 프랑스 미세린 등과 제휴) 등이 있으며, 일본기업은 자국에서의 산학관 연계 전략과 함께 해외 스타트업과의 제휴에도 주력 중임.
- 지구온난화 억제를 위해 에너지, 수송 분야뿐만 아니라 각 제조업의 그린화 혁신이 생존 과제가 되면서 2050년까지의 탈탄소화 기술 개발이 다각도로 모색될 것임.
- 화학산업에서도 수소를 활용한 혁신이 모색되고 있는 한편으로 바이오 화학공장화도 추진될 것이며, 이들 그린화 기술이 비용과 새로운 부가가치 개발 측면에서 서로 경합하는 가운데 한국기업으로서도 다양한 기술의 발전 가능성에 대비할 필요가 있을 것임.

## 6. 시사점

### (1) 일본 사례로 본 한국의 탈탄소화를 위한 시사점

- 일본의 탈탄소화 노력을 봐도 2050년까지의 탈탄소화는 쉽지 않는 과제라고 할 수 있으며, 활용 가능한 기존 인프라를 최대한 동원하는 노력이 중요함.
- 화석 에너지를 활용한 에너지 공급망의 경우도 CCUS 등의 기술을 활용한 탈탄소화 기술의 가능성을 검토하면서 재생에너지, 그린 수소 등과의 경쟁을 통해 비용 절감에 주력할 필요가 있음.
- 태양광 발전이 일본 및 한국에서도 점차 가장 저렴한 전력원으로 발전하고 있으나 일본과 같이 우리나라의 좁은 국토의 한계를 가진 한국의 지형에 맞는 재생에너지 기술의 개발을 통해 재생에너지 보급의 한계를 극복하고 추후 해외시장 개척도 모색하는 노력이 중요함.
- 일본이 주력하고 있는 Perovskite, 부유식 풍력 발전 기술의 개발이 과제가 될 것으로 보임.
  - 건물 벽면 등 도시의 좁은 공간에도 설치할 수 있는 Perovskite 태양광 발전의 대량 보급에 주력하고 대도시의 전력망을 차세대 분산전력망으로 혁신
  - 이를 위해서 일본정부처럼 보급지원책과 규제정책을 적절히 혼합하면서 빌딩, 아파트 등의 재생에너지 도입을 촉진
- 재생에너지와 함께 ESS 보급, 전력망의 IT화가 과제이며, ESS 설치 비용 문제도 고려하면 보급되는 EV가 주택, 사무실에 주차되는 시간대를 활용해서 ESS로 활용하는 V2G(Vehicle to Grid)를 대규모로 확충하면서 EV오너에도 전력판매 인센티브를 제공하는 시스템을 정비하는 것이 중요
- 일본의 탈탄소화 전략에서는 원자력의 활용에 어려움이 있으나 차세대 원전 기술 개발에 주력 중임.



- 지진대가 적은 우리나라 특성과 원자력 관련 기술의 잠재력으로 봐서 저탄소 에너지원으로서 원전을 활용하는 것이 효과적이라고 할 수 있음.
- 안전성이 높은 소형 원전, 고온가스로 및 이를 활용한 수소 생산기술의 개발 등이 중요한 과제가 될 것으로 보임.
- 수송 분야에서는 2030년까지 적어도 신규 판매 차량의 절반 이상이 EV, 수소 연료전지차로 전환해야 2050년까지 모든 보유차량의 탈탄소가 가능할 수도 있기 때문에 현재 추세를 훨씬 뛰어넘는 보급 확대에 주력할 필요가 있음.
- 승용차의 EV화뿐만 아니라 버스, 트럭 등 대형 상용차의 전동화의 가속이 필요한 상황임.
- 수소연료전지차의 비용 절감을 위한 고가격 백금 재료의 절약 및 대체 기술의 개발과 함께 현재 주류인 PEFC(고체고분자형 연료전지) 방식에서 SOFC(고체산화물형 연료전지) 방식으로 전환할 수 있는 기술의 개발도 모색할 필요
- 세계 배터리 산업을 주도하고 있는 한국 산업의 지속적인 성장을 위해 현행 리튬이온전지의 성능향상, 원가절감 등 양산기술의 개량과 함께 전고체전지, 리튬에어전지 등 차세대 및 차 차세대 제품에 대한 기초기술 및 응용기술을 선행적으로 개발
- 민생 분야에서는 ZEH(에너지 제로 주택), ZEB(에너지 제로 빌딩)을 향한 기술 및 보급 로드맵을 작성하면서 규제와 지원책을 통한 노력이 중요
- ALL 전화(電化) 에너지 주택의 보급과 함께 기존 가스 인프라에 수소를 활용하는 방안 등 모색
- 천연가스를 고가격의 LNG로 수입해야 할 우리나라 입장에서는 일본과 같이 수전해 장치를 활용한 그린 수소가 점차 가스를 대체할 수 있는 경쟁력을 갖게 될 것이며, 수소사회를 앞두고 대형 수전해 장치의 개발과 양산, 원가 절감에 주력할 필요가 있음.

- 전자제품의 절전 성능 향상을 위해 절전형 차세대 반도체, 파워반도체 등을 새로운 소재 기술을 기반으로 혁신하는 노력이 중요하며, 또한 각종 기기, 인프라의 IoT화, 네트워크화를 통해 운영 기술측면에서 절전 효과를 높이는 기반을 강화
- 철강, 석유화학 등 제조업 전반의 탈탄소화를 위해서는 생산공정의 전자화, 수소 Methanation, 바이오 기술 활용, 기존 공법과 CCUS 활용 등 다양한 기술의 가능성을 검토해야 할 것임.
- 2030년, 2050년에 탄소 감축 및 중립을 달성하기 위해서는 여러 공법과 관련된 기술의 개발을 실제로 추진하면서 기술간 경쟁을 유도한 후, 궁극적으로 유망 기술에 집중하는 노력을 거의 동시진행으로 추진해야 할 것임.
- 탈탄소화 제조공법의 혁신은 하나의 탈탄소화 기술로 재편되기 보다 여러 기술이 혼합적으로 활용될 가능성이 있음.
- 예를 들면 CCUS를 효율적으로 추진하기 위해서는 회수한 이산화탄소를 활용해서 수소와 결합해 Methane을 활용하는 공법과 연계할 필요도 있음.
- 수소는 전력, 수송, 민생, 제조 등 각 분야에서 활용되고 다른 탈탄소 기술과도 연계되면서 보완적인 역할도 하는 방향에서 발전을 촉진할 필요가 있음.
- 그리고 그 기반이 되는 재생에너지를 활용한 수소 제조 비용의 경제성을 확보하기 위해 재생에너지의 원가 절감이 과제가 될 것이며, 수요를 초과할 정도의 재생에너지 발전량을 확보하면서 전력 과잉 시간대에는 거의 무료로 가까운 수준으로 전력가격을 낮추어 수소를 생산하는 방식을 구축할 필요도 있음.
- 일본의 예상처럼 각 산업의 탈탄소화를 위해서는 막대한 수소를 생산해야 할 필요성이 있으며, 규모의 경제성을 활용하면서 비용절감에 주력할 필요가 있음.

## (2) 한일 협력 유망 분야

- 2050년까지의 탄소중립화를 달성하는 데에 따른 어려움, 제조업이 중요한 한일의 산업구조 현황을 고려할 경우 탈탄소화를 통해 제조업의 생존 기반을 유지 및 확보하기 위해 한일 양국이 협력하는 이점이 클 것으로 보임.
- 탄소 중립화를 달성할 수 있는 기술적 기반은 아직 어느 국가도 확보하지 못한 상황이라고도 할 수 있으며, 한일 양국으로서는 기초기술에서 응용기술을 포함한 연구개발 협력, 분업 파트너 협력을 강화할 필요가 있음.
- 한일 기업간 협력이 주축이 되겠지만 대학 및 공공 연구기관 간 한일국제 연구를 통해 인류 공통의 과제인 탈탄소 기술의 조기 상용화에 주력할 필요가 있음.
- 전력 분야에서는 차세대 태양광 발전기술, 해상풍력, 원자력, V2G 등에서의 조기 상용화 기술협력과 분업 생산 협력을 모색할 수 있을 것임.
- 차세대 원자력 분야에서는 고온 가스로의 개발과 이를 활용한 수소 생산기술의 상업화 협력 사업 등이 고려할 수 있음.
- 신기술을 실증실험로에서 검증하면서 실제 상용화 원전으로 스케일업 하는 데 있어서는 일본의 원자력 가동의 어려움 등을 고려하면 한일간 협력의 이점도 클 것으로 보임.
- 수송 분야에서는 전략적으로 중요성이 높아지고 있고 한일 양국에서 경합이 심화되고 있는 리튬이온 배터리 및 차세대 배터리 분야에서의 협력은 어려울 것으로 보이나 소재 분야에서의 리사이클 협력, 관련 자원 공동개발 협력이 유망할 것으로 보임.
- 한일 양국이 수소연료전지차 기술에서 강점이 있으나 백금 대체, SOFC 방식 활용 등의 기술의 개발에는 어려움도 있는 상황이며, 공동개발로 효과를 제고하는 방안도 모색할 수 있음.

- 이와 함께 V2G 실험을 공동으로 모색하는 등 기술개량과 시스템 구축을 위한 협력 사업도 효과가 있을 것으로 보임.
- 수소사회를 뒷받침하는 그린 수소 생산용 수전해 장치의 경우 EU가 막대한 수소 생산계획을 기초로 양산효과를 거두어 세계시장을 석권할 가능성이 대두되고 있으며, 한일 양국은 어려움에 직면하고 있기도 함.
- 한일 양국에서 수전해 장치의 개발 및 개량 기술 개발에 협력하면서 양국시장의 규모의 경제성을 발휘하면서 각 분야에서 분업 협력하는 방안도 고려할 수 있음.
- 민생 분야에서는 한일 양국이 전자 분야에서 원래 기업간 협력을 발전시켜 왔던 기반도 강하기 때문에 이를 활용하면서 차세대 그린 분야의 협력을 강화
- 탈탄소를 위한 전자제품의 절전 성능 향상을 위한 차세대 반도체의 공동연구 및 개발 노력과 함께 신소재, 신제조장치 개발에 관한 공동연구 모색
- 철강, 화학 등 제조 분야에서의 수소활용, 전자화, 바이오 기술 활용 등의 다양한 탈탄소 신공법에 관해서 한일기업 및 대학간 기술연구개발이 중요할 것임.
- 기초기술이 미진한 단계에서 빠르게 응용 기술도 개발해야 할 탄소중립 일정상의 긴급성도 고려하면서 각 분야에서의 분업 및 협력 프로젝트를 모색하여 개발 및 상용화 속도를 제고하는 노력이 필요할 것임.
- 한일 양국의 인접성을 살려서 차세대 산업 에너지가 될 수 있는 수소 등의 한일 공동 유통망, 분업체제를 구축 및 활성화
- 한일 양국의 경우 EU와 같이 전력망의 국가별 수급 상황에 맞게 서로 전력을 융통하는 시스템이 없다는 어려움이 있으나 재생에너지 확대에 따른 잉여에너지의 수소화를 통해 수소를 한일 양국에서 서로 융통하는 기반을 구축할 경우 효과적일 것으로 보임.

## < 참고자료 >

### 1. 일본의 에너지 기술혁신 전략 방향

- 일본정부 합동(内閣官房, 経済産業省, 内閣府, 金融庁, 総務省, 外務省, 文部科学省, 農林水産省, 国土交通省, 環境省, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(案), 2021.3.
- 経済産業省, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2020.12.
- 経済産業省 資源エネルギー庁, 今後の水素政策の課題と対応の方向性 中間整理(案), 新エネルギーシステム課/水素・燃料電池戦略室, 2021年3月22日
- 竹内 純子 国際環境経済研究所理事・主席研究員, 日本の水素戦略の展望と課題-2050年カーボンニュートラルの柱は電化・水素化
- 日本経済新聞, ミタルが「水素製鉄」へ始動 脱炭素、独設備に2000億円, 2021年6月10日

### 2. 전력 분야의 차세대 그린 에너지 기술혁신 방향

- 資源エネルギー庁, 国内外の再生可能エネルギーの現状と今年度の調達価格等算定委員会の論点案, 2020.9
- 資源エネルギー庁, 今後の再生可能エネルギー政策について, 2021.3.1.
- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, 高温ガス炉による水素製造が実用化へ大きく前進—実用工業材料で製作した水素製造試験装置を用いた熱化学法ISプロセスによる150時間の連続水素製造に成功—, 平成31年1月25日
- 日本経済新聞, CO2地下貯留で100社超協力 日米豪など連携、アジアで商用化へ, 2021.6. 22.
- 国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 二酸化炭素資源化に関する調査報告 2019, 2020.4

### 3. 운수 분야의 차세대 그린 에너지 기술혁신 방향

- 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期), 2020
- 일본경제신문, 車用「全固体電池」、迫る日独決戦 トヨタは特許で先行, 2021年6月3日
- 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事長 石塚博昭, 燃料電池の飛躍的な普及拡大に向けた研究開発事業を開始—水素社会の実現に向けて新たな研究開発テーマを46件採択—2020年9月1日
- 東北大学大学院環境科学研究科, 第3元素添加による燃料電池用触媒の性能向上— 燃料電池自動車用高性能触媒のための原子レベル開発設計指針 —, 2021.2.1
- IHI 보도자료, 微細藻類から製造したバイोजェット燃料を国内定期便に供給-2021년6월18일-

#### 4. 민생 분야의 그린 에너지 기술혁신 방향

- 資源エネルギー庁, 脱炭素化に向けた次世代技術・イノベーションについて, 2018.2.19.
- 柴田善朗・木村謙仁, カーボンニュートラルメタンの将来ポテンシャルーPtGとCCUの活用:都市ガスの低炭素化に向けてー, IEEJ:2018年2月
- 大阪ガス株式会社, 都市ガスの脱炭素化に貢献「革新的メタネーション」実現のキーとなる新型SOECの試作に成功～水素・液体燃料などの高効率製造にも活用可能な技術の開発～, 2021年1月25日.
- 이지평·이인숙, KJ Japan Insight, 한일기업연구소KJ, 2021.3.
- 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 高効率・高速処理を可能とする AIチップ・次世代コンピューティングの技術開発基本計画 2016年度～2027年度
- 일본 경제산업성, 반도체전략, 2021.3.
- 馬本隆綱,AIエッジLSIのAI認識・画像処理技術を向上電力効率は汎用GPUの10倍以上, EE Times Japan, 2020.6.22.)
- 総務省, Beyond 5G 推進戦略ー6G へのロードマップー, 2020.6.30.
- PRESS RELEASE, 2021年 4月 26日, 積水ハウス株式会社, 積水ハウス、2020 年度新築戸建 ZEH 比率 91%, 日本の温室効果ガス削減目標 46%達成に向け、業界をリードして推進

#### 5. 제조 분야의 그린 에너지 기술혁신 방향

- 旭化成株式会社 執行役員 竹中 克, カーボンニュートラル社会の実現に向けた旭化成の取組, 第22回 水素燃料電池戦略協議会, 2021.3.2.
- Hydrogen Technology, 国内初 水素専焼発電所 商業運転化へ着手, 水素供給に関する共同事業開発検討に関する覚書締結, 2021.04.22.
- 大成建設株式会社, カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発 環境配慮コンクリート製造過程におけるCO2収支マイナスを実現, 2021年2月16日
- 日本製鉄株式会社, 鉄鋼業における水素利用, 2021年2月9日
- エネルギー総合工学研究所, 「IoE社会のエネルギーシステム」エネルギーマネジメント研究会 産業・熱低炭素化研究検討グループ成果報告書, 2020.3.31.
- 三菱ケミカル株式会社, 三菱ケミカルー水素への取り組み, 第21回水素・燃料電池戦略協議会, 2021.2.19.
- 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, スマートセル・プロジェクト 成果集, 2020.10.



## 일본의 차세대 그린 에너지 기술혁신 트렌드와 시사점

홈페이지 등록 / 2021.08.

발행처 / 한일산업기술협력재단 경영기획실

주소 / (135-821) 서울 강남구 선릉로 131 길 18-4(논현동)

전화 (02)3014-9825 / 팩스 (02)3014-9807

<http://www.kjc.or.kr>

\* 이 보고서의 내용은 한일산업·기술협력재단 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관이 없습니다.

\* 저작권법에 의해 한국 내에서 보호받는 저작물이므로 무단으로 전재와 복사를 금합니다.

Copyright©2021 by KJCF all rights reserved.