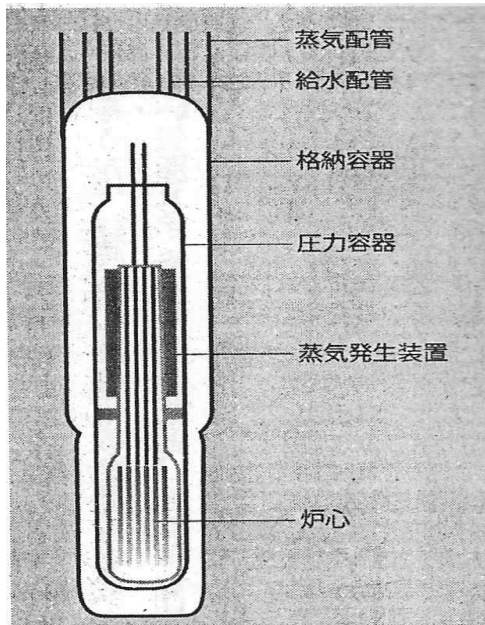


## 소형 모듈 원자로 경제산업성 · 원자력 산업의 실수 반복



- 증기 배관
- 급수 배관
- 격납 용기
- 압력 용기
- 증기 발생 장치
- 노심

(그림1. 위에서부터)

그림1. 뉴스케일사의 소형 모듈 원자로 모식도. 미국 원자력규제 위원회의 사이트 그림을 빌려 필자가 작성

### 오자와 쇼우지

환경 저널리스트/과학 라이터. 1956년, 시즈오카현 가케가와시 태생. 저서로 『에너지를 다시 선택한다』, 『「수소 사회」는 왜 문제인가』, 『메타보도 노화도 장내 세균에 물어라!』 (이상 이와나미 서점), 『일본에서 제일 요구가 많은 소비자들』(다이아몬드사) 등

### 혼란을 겪고 있는 일본의 에너지 정책

제2차 아베 정권이 발족해 2년째인 2014년 4월 「제4차 에너지 기본 계획」이 내각 결정되었다. 거기에는 「원전 의존도는 가능한 한 저감시킨다」라고 쓰여 2012년에 후쿠시마 제1원자력 발전소 사고 후에 민주당 노다 정권하에서 발표된(다만 내각회의 결정은 하지 않았다) 「혁신적 에너지 · 환경 전략」에 기록된 「원자력 발전에 의존하지 않는 사회의 실현(=2030년대의 원전 제로)」이라는 방침은 사실상 휴지가 되었다.

이어서 이듬해 2015년에 내각 결정된 「장기 에너지 공급 전망」은 2030년의 전원 구성에서 차지하는 원자력 발전의 비율을 20~22%로 하여 원자력으로서의 회귀를 선명히 했던 것이다.

그러나 「전망」에 적으면 그대로 진행된다는 간단한 이야기는 아니다. 각지의

원자력 발전의 재가동은 지금까지 좀처럼 진행되지 않았다. 한편, 추가 안전 대책에 비용이 너무 들기 때문에 노후 원전의 폐로 결정이 잇따랐다. 2019년 5월 현재, 일본에서 가동하고 있는 원전은 큐슈 전력의 겐카이 원자력 발전소 3·4호기, 동 센다이 원자력 발전소 1·2호기, 시코쿠 전력의 이카타 발전소 3호기, 칸사이 전력의 타카하마 발전소 3·4호기, 오오이 발전소 3·4호기의 합계 9기, 총 출력 913만 킬로와트에 머무르고 있다. 모두 가압수형 경수로로 사고를 낸 후쿠시마 제1원자력 발전과 같은 비등수형이 많은 동일본의 원자력 발전에 대해서는 원자력 규제 위원회의 적합 심사가 오래 걸리고 있다.

한편 태양광 발전을 중심으로 재생 가능 에너지의 성장은 현저하다. 그 결과, 2017년도의 발전 전력량에 차지하는 재생 가능 에너지(대형 수력을 포함함)의 비율은 15.4%에 이르렀다. 그에 대해 원자력 발전의 비율은 불과 3%다. 향후도 현지의 반대나 부지 내의 활동층의 존재가 밝혀지는 일 등으로 가동에 시간이 걸리거나 폐로를 피할 수 없게 되거나 하는 원전도 나올 것 같다. 건설 중·계획 중의 원전도 완성·착공의 전망이 서지 않는다. 하물며 신규 입지 등 도저히 불가능해 보인다.

가능성이 있기는 리플레이스(동일 부지 내에서의 재건축이나 증설)이지만 그것도 장벽은 높다. 「2030년에 20~22%」이라는 발전 비율이 목표로서 설정되어 있지만, 그 달성은 꽤 어렵다고 보지 않을 수 없다.

그런데 이 나라 관료에게는 일단 내건 목표를 철회하는 것은 정책의 오류를 인정하는 것이 되어, 객관적으로 볼 때 많은 사람이 불가능하다고 생각하는 숫자여도, 내건 이상은 그것에 얽매인다. 그리고 그 숫자에 근거해 다양한 정책이 입안되고 예산이 책정되어 간다.

그러나 실제로는 근년 일본의 에너지 정책 목표는 한 번도 달성된 적이 없다고 말해도 좋을 것이다. 에너지 수요 예측은 언제나 과대하고, 일본이 우위에 선 신기술은 단기간에 보급된다고 되어 있다. 솔직히 말해서 너무 낙관적인 전망이다.

### 「수소 사회」의 실현에도 암운

전형적인 것이 수소와 연료 전지이다. 2000년 전후에도 지금과 같은 수소 붐이 있었다. 1990년대에 내외의 자동차 메이커가 연료 전지 자동차(FCV)의 시작을 발표하고 토요타나 혼다가 시험적으로 리스 판매를 시작하는 등 당장이라도 FCV의 시대가 올 것 같은 분위기가 양성되었다. 그 후 가정용 연료 전

지도 판매되기 시작했다. 2001년에 경제 산업성의 연료 전지 전략 연구회가 발표한 FCV의 도입 목표는 2010년도에 5만 대, 2020년도에 500만 대라는 것이다. 야심적인 목표라고도 말할 수 있지만 근거가 수반하지 않으면 황당무계한 일일 수밖에 없다. 실제 2010년에 도로를 달리고 있던 FCV는 거의 제로였다.

간신히 FCV의 시판차 토요타·미라이가 등장한 것은 2014년 11월. 그 반년 전에 내각 결정된 「제4차 에너지 기본 계획」에는 예정되어 있던 미라이의 발매를 앞두고 「“수소 사회”의 실현을 향한 대처의 가속」이 1항에 실려 있었다. 이 해의 6월에 경제산업성의 수소·연료 전지 전략 협의회가 책정한 「수소·연료 전지 전략 로드맵」에는 가정용 연료 전지 시스템의 보급 목표 대수로서 2020년에 140만 대, 2030년에 530만 대라는 숫자가 표시되어 있다. 게다가 토요타·미라이의 발매를 거친 동 로드맵 2016년 개정판에서는 FCV의 보급 목표 대수를 2020년까지 4만 대 정도, 2025년까지 20만 대 정도, 2030년까지 80만 대 정도로 했다.

실제로는 2019년 3월까지 가정용 연료 전지 시스템의 누계 판매 대수는 약 30만 대(일반 재단법인 코제네레이션·에너지 고도 이용 센터 조사)에 머물고 FCV의 경우는 3,000대 정도로 침체해 있다. 어느 쪽도 앞으로 1년 내에 목표를 달성하기는 불가능하다고 해도 될 것이다. 그간 세계의 차세대 자동차의 추세는 완전히 전기 자동차(EV)로 중심이 이동하여 「수소 사회」를 견인해 온 토요타조차 EV의 발매를 계획하지 않을 수 없게 되었다. 토요타 등이 개발을 추진하는 전 고체 전지 등의 고성능 신형 배터리가 실용화되면, 현재의 EV에 대한 FCV의 우위성은 거의 없어진다.

### **갑자기 떠오른 「소형 모듈 원자로」**

앞에서 언급한 「장기 에너지 수급 전망」은 철저한 에너지 절약을 통해 2030년의 전력 수요를 「2013년에 비해 소폭증가」에 그치도록 억제한다고 하고 있다. 실제로는 2014년 이후의 전력 수요는 그다지 늘지 않았다. 그렇지 않아도 에너지 다소비형의 중후, 장대 산업은 줄어들고 있고, 세대수는 2020년 즈음을 피크로 감소로 변할 것으로 예상되어 가정에서의 에너지 소비는 필연적으로 한계점에 도달할 수밖에 없다. 그리된 데다 철저한 에너지 절약이 행해지면 전력 수요는 한층 더 감소할 것이다. 필자에게는 이 수요 예측 자체가 과대한 것으로 보인다.

이에 대해 재생 가능 에너지는 예상을 웃도는 성장을 보이고 있다. 견인한 것

은 메가솔라이지만 풍력 발전에 관해서도 성장할 여지가 아직도 대단히 크다고 생각하고 있다. 특별한 일이 생긴다면 모르지만, 재생 가능 에너지의 2030년 목표는 앞당겨서 달성할 수 있을 것 같이 보인다.

그러한 상황에서 갑자기 주목을 끌게 된 것이 소형 원자로 「소형 모듈 원자로 (SMR)」이다. 계기는, 2018년 7월에 내각 결정된 「제5차 에너지 기본 계획」이다. 「2030년을 향한 기본적 방침과 정책 대응」이라고 제목을 붙인 제2장 속에 고온 가스로 용융염로와 함께 소형 모듈 원자로라는 말이 나온다. 그것도 「혁신적인 원자로 개발을 진행하는 미국이나 유럽의 대처도 참고하면서 나라는 장기적인 개발 비전을 내걸고」라고 간단히 쓰여 있을 뿐이다. 그런데 실제의 움직임을 보면 경제산업성은 소형 모듈 원자로에 상당히 힘을 쓰고 있다.

일본 정부는 작년 5월에 국제적인 틀 「NICE Future(원자력 혁신 : 클린 에너지의 미래) 구상」을 미국이나 캐나다와 함께 만들어 그의 추진에 주체적으로 관여하고 있다. 동 구상의 목적은 원자력을 클린 에너지로서 기후 변동 대책 안에 명확히 자리매김하게 하자는 것이며 그중에서 초점이 맞추어져 있는 것도 소형 모듈 원자로이다.

소형 모듈 원자로는 종래형 원자로와는 기본 콘셉트가 크게 다르다. 종래형의 대형 상용 원자로(경수로)는 후쿠시마 제1 원전과 같은 비등수형(BWR)이고 가압수형(PWR)이고 모두 하나의 플랜트로서 현장에서 조립된다. 공사 기간도 길다. 당연히 1기당 출력이 크면 클수록 발전 단가가 내린다. 그 때문에 많은 원자로는 100만 킬로와트를 넘는 전기 출력을 가지고 있고, 계획 중인 큐슈 전력 센다이 3호기의 경우는 159만 킬로와트라는 거대한 것이다. 이와 달리 SMR 는 출력 30만 킬로와트 이하로 종래형 원자로와 비교하면 꽤 작지만 모듈 원자로라는 이름대로 원자로는 기체의 유닛이 되어 있어, 공장에서 제조되어 대형 트레일러(혹은 열차나 배)에 실어 건설 사이트까지 운반된다. 천연가스 터빈 등과 같이 일련의 발전 시스템 안에 끼워 넣을 수 있는 원자로인 것이다.

다만, 소형 모듈 원자로라고 불리는 노도 원리나 방식은 다양하다. 미국의 원자력 벤처인 뉴스케일사가 개발하고 있는 것은 종래형인 가압수형 경수로를 소형 일체식으로 한 「통합 가압수형 경수로」로 1기당 전기 출력이 5만 킬로와트다. 동 사에서는 이것을 21기까지 조합해서 일체적으로 운전시키는 것이 가능하다고 하고 있다. 아르헨티나에서는 국립 원자력 위원회가 설계해 부에노스아이레스 교외에 건설 중인 역시 경수로 타입의 원형로를 2020년대 초에 가동시킬 계획이다. 이에 대해, 캐나다의 텔레스토리얼·에너지사가 개발 중

인 노는 용융염로라는 타입으로, 연료인 저농축 우라늄은 불화물 용융염에 녹아 있다.

## 재생 가능 에너지와 원자력의 공존

후쿠시마 제1원자력 발전 사고 이전에 마이크로소프트 창업자인 빌 게이츠 씨가 출자한 테라파워사가 그 콘셉트를 발표하고 토우시바에 기술 협력을 요구한 것으로 주목을 받았다. 토우시바는 당시 4S 로라는 모듈형의 나트륨 냉각 고속로(SFR) 개발을 추진하고 있음을 공표했었다. 4S 는 슈퍼·세이프, 스몰, 심플의 각각의 머리글자. 전기 출력은 1만 킬로와트 또는 5만 킬로와트로 작고, 원자로는 연료 교환 없이 30년간 가동한다. 발전이 끝난 뒤는 원자로를 통째로 바꾸는 소위 「카트리지식 원자로」다.

다른 형식으로는 핵연료는 교환식의 것이 많지만 종래형보다 교환 빈도가 적다. 또 어느 타입도 원자로 내부는 자연 대류에 의해서 냉각되고 원자로에 어떠한 트러블이 있을 경우에도 외부 전원이나 외부 냉각수가 불필요하며 출력이나 온도의 이상 상승은 일으키지 않고 방사성 물질의 외부 누설도 하지 않는다는 사전 선전이다.

소형이고 안전성이 높기 때문에 현장 발전과도 잘 맞는다고 한다. 낙도나 송전망이 미정비인 지역은 말할 필요도 없고 대형 공장에 설치하면 폐열도 이용할 수 있어 에너지 효율이 높아진다. 또 도시 교외에 설치하면 마이크로 그리드나 스마트 커뮤니티를 구축할 수 있다는 등 그 장점을 강조한다. 물론 앞의 뉴스케일사의 용광로처럼 다수를 조합하면 대형 발전소가 되기도 한다.

표1. 주된 소형 모듈 원자로의 종류

방식	개발 기업·조직	나라	실용화 목표 시기
단순화 가압수형 경수로(KLT40-S)	OKBM 아후리칸토프	러시아	건설 중
단순화 가압수형 경수로(CAREM)	CNEA	아르헨티나	건설 중
통합 가압수형 경수로	뉴스케일	미국	2020년대 중반
통합 용융염로	텔레스토리얼·에너지 캐나다	캐나다	2020년대
진행파 원자로	테라파워	미국	2020년대 중반
통합 가압수형 경수로	롤스로이스	영국	2030년
단순화 비등수형 경수로	히타치 GE 뉴클리어·에너지	미국	2030년대
나트륨 냉각 고속로 (4S)	토우시바	일본	불명
고온 가스로	일본 원자력 연구 개발 기구	일본	2030년대

그리고 무엇보다 소형 모듈 원자로로는 출력 조정이 가능하다고 한다. 종래의 대형 원자로로는 임계에 달한 뒤 트러블이나 지진 등이 없는 한 전 출력으로 약 1년간 계속 가동한다. 따라서 안정된 베이스 전원에 적합하지만 거꾸로 말하면 융통성이 없다는 것이 된다. 재생 가능 에너지 회의파는 풍력이나 태양광은 출력이 변동해 불안정하다고 주장하지만 수요 쪽도 변동하므로 원자력 발전만으로는 대응할 수 없다. 수요 변동에 맞추기 위해서는 역시 천연가스 등의 화력 발전, 수력 발전(양수를 포함함)을 조합할 수밖에 없는 것이다. 그런데 소형 모듈 원자로로는 수요에 맞추어 전 출력 이하라도 운전할 수 있다고 한다. 그래서 소형 모듈 원자로에 의하여 변동하는 재생 가능 에너지 발전의 약점을 잡는다는 이론이 주장되게 되었다. 일찍이 재생 가능 에너지는 원자력 발전의 적이었지만 소형 모듈 원자로에 의해서 「원자력과 재생 가능 에너지와의 공존」이라는 새로운 모델이 고안된 것이다. 그렇다고는 해도 소형 모듈 원자로 안에서는 핵분열 연쇄 반응에 의해서 막대한 에너지와 함께 「죽음의 재」가 만들어지는데 …….

「재생 가능 에너지를 원자력과 동등 정도로까지 늘린다.」 하는 방침과 재생 가능 에너지는 순조롭게 성장하고 있지만 원전 재가동이나 신설은 전혀 전진하지 않는 현실을 합쳐서 생각하면 추진하는 사람들이 소형 모듈 원자로에 거는 기대가 엇보인다. 어떻게 해서든 원자력 산업을 유지하고 싶고 장기 수급 전망으로 내건 목표치를 인하할 수는 없다는 것이다. 물론 거기에는 실리도 있다. 이 에너지 기본 계획을 받아 2019년도 예산의 개산 요구에 소형 모듈 원자로 등의 신형 원자로 개발 지원 명목으로 10억 엔이 계상되어 있다(이에 기초해 「사회적 요청에 응하는 혁신적인 원자력 기술 개발 지원 사업 보조금」의 공모가 실시 중. 6월 14일 마감 예정).

### 온난화 대책 장기 전략안에도 등장

이 소형 모듈 원자로는 2019년 4월에 공표된 정부의 「파리 협정 장기 성장 전략안(장기 전략)」에도 포함되었다. 파리 협정은 기후 변동을 억제하기 위한 국제적인 틀로서 2015년에 채택된 협정으로 일본도 2016년 11월에 동 협정이 발효한 직후에 비준하고 있다. 대체로 기후 변동 대책에 소극적이라고 비판을 받아 온 일본이 6월에 오사카에서 열리는 G20 회합에 맞추어 「장기 전략」을 어필하기 위해서는 빠듯한 타이밍이었다.

「장기 전략」은 2050년까지 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등의 온실 효과 가스 배출을 80% 삭감한다는 목표를 내걸고 그를 위해 에너지 분야에서는 ①재생 에너지

의 주력 전원화, ②가능한 한 원전 의존도를 저감, ③화력 발전에의 의존도 인하와 CO<sub>2</sub> 회수 저류·이용의 추진, ④「수소 사회」의 실현, ⑤열의 효율적 이용과 분산형 에너지 시스템의 구축의 다섯 개를 지향해야 할 방향성으로서 내건다. 그 중점 시책으로서 추진해야 할 「원자력에 관한 기술의 예」에 역시 고속로, 고온 가스로, 용융염로 등과 함께 소형 모듈 원자로가 거명되어 있다. 소형 모듈 원자로에 관해서 작년의 「제5차 에너지 기본 계획」과 「NICE Future」 참가 그리고 이 「장기 전략」은 일련의 사안이다. 「원자력은 가능한 한 줄인다.」라고 말하는 한편, 기후 변동 대책으로 든 것은 지구 온난화의 주요한 원인인 CO<sub>2</sub>를 배출하지 않는 「제로 에미션 전원」으로서 원전은 불가결하다는 평가이다.

2000년대에도 이 원전 제로 에미션론은 넓게 선전되었다. 후쿠시마 제1원전 사고에 의해서 대량의 방사성 물질이 흩뿌려진 후에는 허무하게 들리지만 그 제로 에미션 전원론이 새로운 의상을 입고 재등장해 온 것이다.

#### 소형 모듈 원자로에 미래는 있을까

그러나 아무리 안전한 원자로라고 주장되어도 공장 안에나 도시 교외에 소형 모듈 원자로를 설치하는 것을 주변 주민은 간단히 승낙할까. 생각하면 과속 사고를 낸 후쿠시마 제1원전의 비등수형 경수로도 사고 전에는 안전이 강조되고 있었다. 꿈의 원자로라고 불리던 몬주도 형편없는 결과로 끝나 폐로를 피할 수 없게 되었다. 핵분열이라는 극히 큰 에너지를 취급하는 원자로라는 것은 실제로 운전해 보면 어떠한 행동을 하는지 아무리 시뮬레이션을 해도 다 할 수 있는 것은 아닐 것이다. 소형이고 취급하기 쉽고 안전하다고 하는 주장에 대해 간단히 수긍할 수 없는 것이다. 더 말하면 소형 모듈 원자로에서도 핵폐기물은 발생하는 것이다. 4S 원자로와 같은 「카트리지식」이면 꺼낼 필요는 없을지도 모르지만 최종 처분지에 가지고 가서 초장기간 엄중히 보관해야 한다. 수명이 다 되어도 쉽게 버릴 수 없는 것이 원자로인 것이다. 일본은 물론 많은 나라에서 지금까지 모인(그리고 지금도 불어 가고 있는) 사용이 끝난 핵연료의 최종 처분지조차 정해져 있지 않다.

한 번 더 말하면 소형 모듈 원자로의 발전 단가가 싸다고 하는 주장에도 일언지하에 끄덕일 수 없다. 소형 모듈 원자로의 가격 저하는 공장에서 얼마나 양산할 수 있는가에 달려 있다. 충분한 생산 수가 확보되지 않으면 소형 모듈 원자로의 가격은 내리지 않아 따라서 원가 총액은 낮아지지 않고 오히려 상승할지도 모른다. 그것은 발전 단가에도 반영된다. 뉴스케일사의 원자로의 경

우 발전 단가를 일본 엔으로 7엔 당/킬로와트시로 하고 있지만 그것은 어디까지나 목표에 지나지 않는다. 현상의 예측으로는 종래형 대형 원자로부터 발전 단가는 상승할 것으로 생각된다. 그것은 다른 전원과 비교해도, 소형 모듈 원자로가 경제적 우위성을 가지고 있지 않음을 의미한다.

국제 재생 가능 에너지 기관의 전망으로는 2020년 즈음까지 모든 재생 가능 에너지의 발전 단가는 화력발전의 단가를 밑돈다고 한다. 출력 변동을 보충하는 시스템 운용 기술이나 고성능 배터리의 개발도 진행된다. 2020~30년대에 정말로 안전한 소형 모듈 원자로가 실현되었다 할지라도 이미 보급한 값싼 전원에 대해 경쟁력을 가질 수 있을까. 그런 산업에 투자가 모일까.금이 나기 시작한 「수소 사회」 구상과 같은 오산에 빠지지 않을까. 통상 원자로의 연구 개발은 개발 초기 단계의 소규모의 실험로, 원형로, 실증로로 나아가 그 후에 실용로(상용로)가 건설된다. 이 프로세스로 말하면 소형 모듈 원자로의 개발 페이즈는 개발이 진행되고 있는 것도 대부분이 실험로나 원형로의 단계이다. 건설에 즈음하여서는 후쿠시마 원전 사고 후보다 엄해진 각국 규제 당국에 의한 심사도 있다. 상정 외의 문제도 생길 것이다. 개발이 계획대로 진행되기는 기대할 수 없다. 실제로 지금까지 소형 모듈 원자로에 관해서 표에 게재한 이외에도 콘셉트가 제시되어 개발도 시행되었지만 그중 몇 개는 변경되거나 정체하고 있다. 현재 진행 중의 프로젝트도 모두 순조롭게 진행되고 있다고는 말하기 어렵다. 건설 중으로 여겨져 있는 러시아나 아르헨티나의 소형 모듈 원자로도 진행은 심하게 지연되어 있고 건설비도 큰 폭으로 상승하고 있다고 전해진다.

그런데 지금 소형 모듈 원자로에 관해서 들려오는 것은 장미색 미래만으로 비용이나 개발의 곤란함 그리고 거기에 숨어 있는 위험이나 핵폐기물의 문제는 거의 무시되고 있다. 마치 1960~70년대로 돌아온 것 같이 보인다. 그 결과 후쿠시마 제1원전이 과욕 사고를 내어 방사성 물질이 광범위하게 흩뿌려졌는데 지금 아직도 수만 명이 피난 생활을 보내고 있다는 사실은 마치 없었던 것 같이 보인다.

경제산업성은 지금까지의 에너지 정책의 차질을 단적으로 인정하여 이 이상 상처를 벌리지 않도록, 현실성이 있는 정책으로 전환해야 하지 않을까. 손이 닿는 「제로 에미션 전원」이야말로 더 늘려져야 한다.