



21세기의 放射線センサー

中澤 政治

Nasaharu Nakazawa

東京대학 공업계 연구과 교수

현재까지의 방사선 검출기의 개발사는 신소재나 신기술의 출현에 의한 것임을 소개하여 그 관점에서 현 시점으로 어떠한 방사선 센서가 개발되고 있는가를 설명하였다. 특히 超傳導型 방사선 센서, 光파이버에 의한 분포 센서, 레이저 기술 등이 21세기의 방사선 센서가 됨을 예상한 외에 바이오센서에의 기대도 기술했다.

1. 방사선 센서의 100년

렌트젠 교수에 의한 X선의 발견과 베크렐 박사에 의한 우라늄 방사능의 발견으로부터 1세기가 지났습니다. 방사선 측정의 전문적인 관점으로 보아, 렌트젠 교수와 베크렐 박사는 처음으로 방사선을 측정할 대선패에 해당합니다. 연구실의 학생과 더불어 축하해 마지 않습니다.

당시 활약한 방사선 센서는 사진 필름이었습니다. 나도 폴라로이드 카메라를 가지고 방사선의 사진을 촬영한적이 있습니다만 감도는 그다지 좋지는 않습니다. 현재의 방사선용 필름은 乳劑를 두껍게 하여 감도를 높이고

있습디만, 사진 필름은 100년 동안이나 방사선 센서 역할을 해왔습니다.

그후 가이가 計數管(1908년), 신틸레이션 검출기(1940년대), 반도체 검출기(1958년) 등 새로운 방사선 센서가 발명 내지 개발되어 왔습니다.

방사선을 막론하고 센서의 개발은 매우 즐겁게 열중할 수 있습니다. 자기의 아이디어가 떠오를 때는 흥분하여 잠도 안 오는 정도가 됩니다. 그리고 그런 사람들은 원래 이 세상의 과학, 기술의 동향이나 성과에 대해서도 감도가 좋은 센서를 가지고 있는 사람들입니다. 또한 무엇을 보더라도 자기 생각을 센서와 관련지어 생각하는 사람들입니다.

2. 신소재의 이용

새로운 재료가 발견되거나 만들어지면, 곧 방사선 센서로서의 이용이 가능한지 아닌지를 방사선 측정기 전문가는 생각합니다. 반도체가 만들어졌을 때 같은 방식으로 생각한 사람이 현재의 방사선용 반도체 검출기의 역사를 탄생하게 하였습니다. 실리콘이나 게르

마늄의 반도체 검출기는 荷傳粒子나 감마線, X선의 스펙트럼 측정에 필수가 되어 있습니다.

게르마늄 등은 액체질소에 냉각시켜 사용하지 않으면 안되지만, 냉각 없이 常溫으로 사용할 수 있는 검출기의 개발은 현재 상당히 발전되어 있습니다.

CdTe(캐드텔이라고 부름) 검출기나 CZT(CdZnTe의 약자) 검출기는 각각 市販品으로 나오기 시작하고 있습니다.

또한 실리콘 검출기에 있어서도 제작법이 개량되어 튼튼하게 된 無定形 실리콘이 개발되어, 최근에 반도체식 선량계로서 이용되고 있는 사실은 모두 알고 있으리라 생각합니다. 측정회로도 콤팩트화된 전자식 개인선량계(EPD)가 널리 이용되고 있는 것은 이제는 틀림없는 사실일 것입니다.

이와 같이 새로운 소재가 개발되면 방사선 센서로서 시험해 봅니다. 반도체는 그 시험이 성공한 예입니다만, 나는 이것을 「천의 3개형」이라 생각하고 있습니다. 광산이나 샘을 팔 경우, 천개 정도 파면 3개 정도 적중한다고 합니다. 이른바 「노다지 캐는 사람」의 세계입니다만, 새로운 소재가 방사선 센서로서 성공할 것인가 아닌가에 있어서도 이와 같은 세계일 것이라는 느낌이 듭니다.

최근 노다지가 된 새로운 소재는 초전도체입니다. 조지프슨 接合素子는 Nb라든지 Al 등의 사이에 NbO₂라든지 AlO₂등의 얇은 酸化膜을 끼운 것인데, 액체헬륨의 온도에 의해 조지프슨 효과를 나타냅니다. 초전도체 중에는 구퍼對라 부르는 전자상태가 있습니다만, 방사선에 의해 이것이 파괴되어 準粒子가 되어, 酸化膜을 터널 효과로 통과하여 신호가 된다고 말하는 것입니다.

이 초전도체의 좋은 점은 방사선 센서로서의 에너지 分解能이 혁명적으로 뛰어나다는 점입니다. 현재 에너지 分解能이 좋은 방사선 센서는 실리콘이나 게르마늄 등의 반도체 검

출기입니다만, 이 초전도형 방사선 검출기는 반도체에 비해 에너지 分解能이 약 30배나 좋게 됩니다. 이를테면 鐵 55의 X선(5.9keV)에 있어서 반도체 검출기로는 최고의 半值幅 100eV가 원리적으로 최고 성능입니다만, 초전도체를 사용하는 3eV정도가 될 예정입니다. 지금으로서는 일본 제일은 73eV, 세계 제일은 40eV 정도입니다만, 21세기가 되면 지금의 반도체처럼 사용하게 될 것이라 전문가는 생각하고 있습니다. 참고로 Fig. 1에 탄소에서의 X선에 대한 세계 최고의 측정 데이터를 제시했습니다.

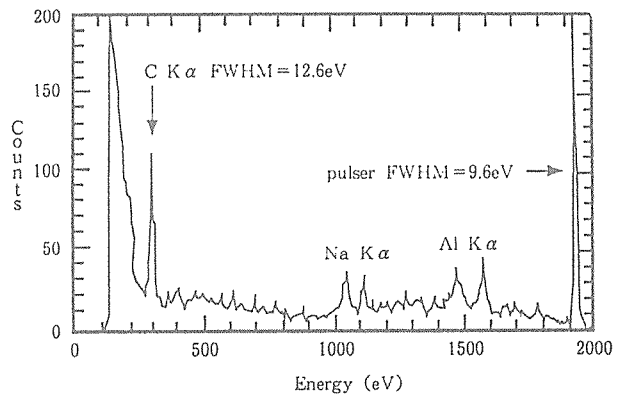


Fig. 1 Al/AIO₂/Al超伝導 터널 接合檢出器에 의한 炭素K-X線 스펙트럼 測定例

3. 光技術의 이용

새로운 소재의 이용에 있어 다음으로 생각하게 되는 것은 새로운 기술의 이용입니다. 현대는 전자기술의 시대라 불리어지고 있으며, 많은 방사선 측정기에서의 출력은 천자의 흐름으로서 다루고 있습니다.

전자회로 기술이 방사선 측정에는 필수이며, 측정결과는 컴퓨터로 解析하고 있습니다. 최근에는 디지털 신호처리라고 하여 1개 1개의 출력신호 波形 그 자체를 數値로 하여 검

퓨터에 넣어 그 신호 波形에서 그것이 본래의 신호인가, 아니면 잡음신호인가, 또한 본래의 신호라 할지라도 알파선에 의한 것인가, 감마선에 의한 것인가, 우주선 등의 신호에 의한 것인가를 구별하는 것까지 가능하게 되어가기 시작합니다.

이와 같이 전자기술은 현재 절정을 맞이하고 있는 것으로 나에게는 생각됩니다만, 다음 시대는 光技術의 시대일 것 같습니다. 光파이버, 레이저에 의해 통신 기술의 주요부분은 이미 光技術로 대체되고 있는 중에 있습니다. 원래 光信號는 전자신호에 비해 보다 빠른 속도로 다량의 정보를 보낼 수 있기 때문에 센서으로는 아주 편리합니다. 또한 사물의 관찰은 본래 빛으로 하는 것이기 때문입니다.

光技術의 이용으로 최근 각 분야에서 시작되고 있는 것은 光파이버에 의한 分布센서입니다. 이를테면 길이 2km의 光파이버의 한쪽에서 레이저를 넣어 反射光을 측정하면, 파이버의 각점의 온도 분포가 단번에 측정할 수 있습니다. 약1cm 폭으로 온도의 측정 精度도 0.1℃정도입니다. 고속도로의 터널 안에서 화재 경보기로 사용하고 있는 것으로 듣고 있습니다만, 현재로서는 규제상의 문제로 적용되고 있지 않는 모양입니다. 고기능 빌딩에서는 철근에 光파이버가 덮여 있어, 온도 이외의 스트레스 등의 연속감시도 하고 있다고 합니다.

이 光파이버를 사용하여 방사선을 측정하고자 하는 시도가 있습니다. 현재 실용 레벨까지 이르고 있는 것은 光파이버의 중심부분을 플라스틱 신틸레이터로 한 것입니다. 이 光파이버의 양 끝에서 신틸레이터를 들어내어 그 시간차에서 방사선의 입사 위치를 알게 됩니다. 실제로 측정한 예를 Fig2에 제시합니다.

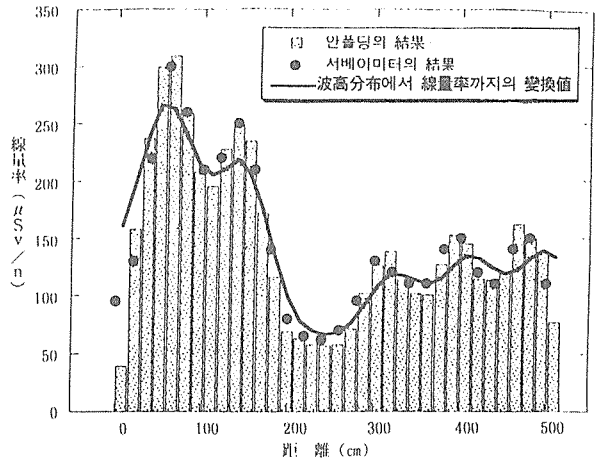


Fig 2. 光파이버에 의한 原子力施設內에서의 線量當量率 分布測定結果(도표중의 점선 및 직선그래프는 光파이버의 結果)

서베이미터(가이거 計數官)로 측정된 결과와 일치하고 있음을 알 수 있습니다. 이것은 곧 방사선의 공간분포 모니터에도 사용할 수 있는 것입니다. 다만 지금으로는 공간 分解能은 30cm정도의 폭입니다.

또한 光파이버는 종래 방사선에 약한 것으로 이야기되고 있었습니다. 실제 내 자신도 東京대학의 彌生爐라는 출력이 작은 원자로를 가지고 光파이버를 이용했을 경우, 중성자의 감마선이 照射되어지면, 보고 있는 동안에 빛이 통과하지 않았다고 하는 경험이 있습니다.

최근 이 점에 있어 크나큰 개량이 있었습니다. Fig. 3에 나타나는 바와 같이 10년동안에 1,000배 씩이나 光파이버의 耐放射線 특성이 개량되어오에 따라 현재는 발전용 원자로의 중심에 넣어도 한 시간 정도 있으면 사용할 수 있는 제품이 개발되었습니다.

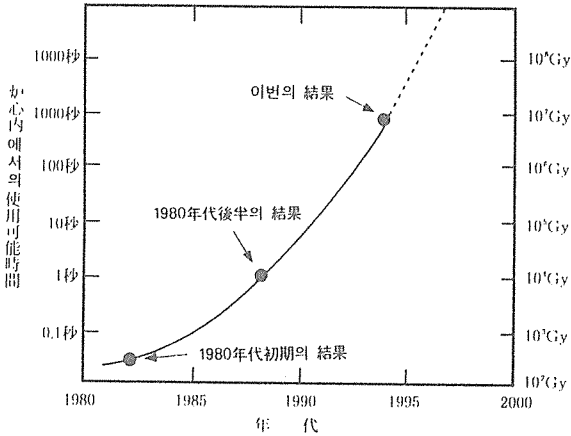


Fig. 3 光파이버의 耐放射線特性的의 進展 爐內 中性子束 $10^{14}n/cm^2 \cdot s$, $10^4Gy/s$ 으로 100dB/km(850nm)를 使用可能時間으로 할 경우의 값

또한 레이저의 응용에 있어 미량 방사능의 검출에 기대를 걸고 있습니다. 이미 레이저에 의해 특정의 원자만을 이온화 하는 기술은 우라늄 농축으로서 유명하게 되어 있습니다만, 레이저에 의한 특정 원자의 이온화 기술이라는 것은 우라늄 농축보다는 특정 원자의 검출, 분석에 높은 성능을 발휘합니다. 목적으로 하는 원자가 백만개나 있어야 분석되기 때문에 조금 수명이 긴 방사성 동위원소이면 그것에서 나오는 방사선을 계측하기보다는 그 원자수를 레이저法으로 계측하는 편이 감도가 좋아집니다. 이를 테면 스메어法으로 로紙에 붙은 방사성 물질을 가이거관이나 액체 신틸레이터로 계측하기보다는 그것을 레이저法으로 어떠한 방사성 물질이 몇개라고 계측하는 날이 오는 것도 그다지 멀지 않을 것이라 생각하여 실험을 계속하고 있습니다.

光技術이라 함은 光電子 增幅管이 두개의 방향으로 개량되어 가고 있음을 부연하고자

합니다. 하나는 반도체化로 진공관의 트랜지스터化에 해당하는 개량입니다. 無定形 光다이오드나 거기에 전자 增幅을 더한 사태型입니다. 요화 세습 등의 신틸레이터는 그 光센서로 충분히 光電子 增幅管과 같은 정도의 스펙트럼이 측정될 수 있게 되어 市販品으로서도 바뀌지고 있습니다.

또 하나는 미세 가공기술로 실리콘 基板 위에 직경 100미크론의 光電子 增幅管을 1단계 정도 늘어놓은 것입니다. 인간의 網膜과 같은 光센서가 시험적으로 만들어지고 있습니다. 같은 것으로는 카메라에 사용되고 있는 CCD (電荷 結合素子)가 있습니다만 이것은 高感度化 시킨 것과 같은 것이 됩니다. 어떻게 응용되어 市販될 것인지 자못 기대가 됩니다.

4. 新原理의 추구

금후 새로운 방사선 센서의 원리로서 考察되어지는 것이 어떤 원리인가를 생각해 보는 것은 즐거운 일입니다. 우선 바이오센서의 분야에서 여러 새로운 아이디어가 나오고 있기 때문에 방사선센서에서도 바이오的인 원리가 나오지 않을까 생각됩니다. 방사선의학 연구소에서는 방사선에 의한 손상을 입은 染色體를 計數하는 기술이 개발되고 있습니다. 0.05Gy에서 7Gy까지의 피폭선량의 추정이 가능한 것으로 말해지고 있습니다. 또한 방사선에 의해 齒牙의 에나멜質이라든지 설탕 등의 안에서 생긴 래디컬을 전자 스핀 共鳴法(ESR)으로 측정하는 방법도 제안되고 있습니다.

마이크로 센서의 개발도 매우 기대됩니다. SQUID 등 磁場을 사용한 센서도 고려할 수 있습니다. 많은 수법을 추구하다 보면 현행의 필름이나 TLD 등을 바꿔놓을 수 있는 간편한 선량계도 틀림없이 고안될 것이라 생각하고 있습니다. 21세기의 선량계 개발을 기대하며 이 글을 끝맺고자 합니다.