

ベータ崩壊核種の作る相互作用場における電気化学的起電力生成装置の出力信号増大現象に関する研究

須田, 翔哉

<https://doi.org/10.15017/1931896>

出版情報：九州大学, 2017, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

氏 名 : 須田 翔哉

論 文 名 : ベータ崩壊核種の作る相互作用場における電気化学的起電力生成装置の出力信号増大現象に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

ニュートリノなどに作用する弱い相互作用は、電磁相互作用と統一した電弱理論で記述される。電弱理論では極めて小さな相互作用断面積を説明するために、相互作用を媒介する重い質量のボソンの存在を規定している。この重いボソンを介した2体間の相互作用ではニュートリノの内部構造を想定していないが、ニュートリノに内部粒子が存在するならば、その内部相互作用を介した反応チャンネルが開く可能性がある。この反応の断面積が大きい場合、その工学的な応用として低エネルギーベータ崩壊核種の非破壊モニタリングや、弱い相互作用を介した生化学反応の促進などに利用することも期待される。先行研究において生物由来物質を利用した電気化学的起電力生成装置(以下、検出器と略記)の出力信号測定実験が行われ、重水減速新型転換炉の傍では検出器出力信号が増大する結果が得られていた。しかし検出器出力信号の増大要因は原子炉由来の反ニュートリノ入射によるものか、または原子炉内のベータ崩壊核に起因する質量生成場のような弱い相互作用場による影響が考えられるが、それらの特定には至っていなかった。

本研究では、新たにトリチウム存在量の少ない加圧水型原子炉(PWR)周辺における検出器出力信号の測定実験を行い信号増大の現象を調べるとともに、単体同位体の大強度トリチウム線源周辺における実験を行い、これらの実験を通じて信号増大の要因を明らかにすることを目的とした。

第1章では、標準理論における弱い相互作用の取り扱いについて説明した後、先行研究の実験結果を踏まえて電弱理論を多体系の内部相互作用へ適用する可能性について述べた。電弱理論では $U(1) \times SU(2)$ ゲージ不変な理論の枠内で相互作用を定式化し、弱荷と電荷を同じ大きさとしながら相互作用を媒介するボソンに重い質量を与えている。電弱理論は2体間に生成する一体場を対象とするが、ニュートリノが内部粒子を持ち多体系を構成しているならば、内部相互作用を介した反応が出現する可能性があることを示した。

第2章では、本研究グループで使用している検出器の構造および、検出器の特性を詳細に調べるために新たに行った実験について説明した。検出器では内部の精製水内に酸化電極(金電極)および還元電極(炭素電極)が設置され、酸化電極の周りに生物由来物質である生糸が配置されている。この生糸が出力信号生成に重要な役割を果たしており、出力信号は原子炉等に由来する質量生成場のような弱い相互作用場から影響を受けて増大することが示唆される。生糸は繊維状のフィブリン、膠状のセリシンの2種類のタンパク質から構成されるが、フィブリン繊維のみでは出力信号が生成されないことが実験によって明らかになった。このことから特にセリシンがその周辺に質量生成場を生成し、検出器出力信号生成に関わっていることが推定された。また酸化電極側と還元電極側で溶存酸素濃度測定実験を行い、酸化電極側では酸素生成反応、還元電極側では酸素消費反応が起こっており、濃度勾配に沿って酸素が拡散していることを示した。検出器溶液内の不純物イオンの

定量分析も行い、出力信号測定開始後約 2 日でほぼ全量の不純物イオンが生糸表面から溶液内に溶出し、酸化反応による検出器出力信号の初期ピークを生成することが明確になった。

第 3 章では、検出器出力信号の増大効果を調べるために PWR および大強度トリチウム線源周辺で行った実験について説明した。PWR 炉心から距離 26 m の位置に複数の検出器を設置して実験を行い、誤差棒を含む出力信号増大効果のデータを取得した。またトリチウム線源から距離 8.6 m の位置での実験においても出力信号増大効果が見られたが、その出力電荷生成率はトリチウムから放出される反ニュートリノ束による反応では説明できなかった。そこで出力信号増大は、原子炉やトリチウム由来の反ニュートリノ入射によって起こるのではなく、低エネルギーベータ崩壊核種が生成する質量生成場の影響下で環境ニュートリノの検出効率が上昇したことによって起こると推定された。またトリチウム線源から距離 2.4 m、8.6 m、および 16.8 m の位置における同時測定によって、トリチウム線源から検出器までの距離にほぼ線形的な負の相関で出力信号増大効果が弱まることが明らかになった。

第 4 章では、想定する検出器の出力信号生成プロセスについて述べたのち、出力信号時間変化の電気化学的解析について説明した。通常の電気化学反応に加えて、ボソン化した電子の介在を仮定すると出力信号の時間発展を矛盾なく説明できることが明らかになった。また電気化学的解析を通して、検出器信号はトリチウムの原子数に最も感受性が高い結果になった。原子炉において低エネルギーベータ崩壊核種は存在量としてプルトニウム 241 が支配的だが、大強度トリチウム線源を用いた実験結果を合わせて解析すると、トリチウムはプルトニウム 241 に比べて約 200 倍の強さで出力信号生成に寄与する結果も得られた。トリチウムは自然界のベータ崩壊核種の中で、核子数が少ない上に陽子数に対する中性子数が最も多い。そのため、その外側中性子は核力の効果が弱く反ニュートリノの性質を残しており、プルトニウム 241 等の他のベータ崩壊核種に比べて相対的に強い質量生成場を生成する性質があると推定される。

第 5 章では、本研究の結論および将来的な応用について述べた。検出器はトリチウムの核子数に最も有感であることから、大強度トリチウム管理を目的とした、外部電源を必要としない設置の容易な非破壊モニターとしての利用が期待される。