

<b>週刊</b>	<b>エネルギー通信</b>		発行所 エンジニアリングニュース社
			〒105 東京都港区西新橋2-8-14
			-0003 宝栄西新橋ビル
			電話(3595)0707代 FAX(3595)0789
			編集兼発行人 西野竜二
		発行日 毎週月曜日発行	
		購読料 年間 70,000円	
		半年 37,000円	

## 目 次

<p style="text-align: center;">(原子力)</p> <p>☆高温プラズマ更に進展 LHD第18サイクル 2</p> <p>☆核融合炉発電システム 熱・流動試験装置完成 6</p> <p>☆プラント配管の減肉 検査手法の最適化へ 8</p> <p style="text-align: center;">(高エネルギー)</p> <p>☆Sニュートリノ探索実験 MLFで最高感度目指す 12</p> <p style="text-align: center;">(火力)</p> <p>☆GT翼遮熱層の劣化 レーザー励起で検出 17</p>	<p style="text-align: center;">(地熱)</p> <p>☆武佐岳SMMG-2D 石資、6月の噴気計画 19</p> <p>☆武佐岳地熱系モデル H22年度既往調査 20</p> <p>☆地熱・温水を利用する 地域活性化の取組(中) 22</p> <p>☆新興国の地熱開発支援 JICA、円借款契約 26</p> <p style="text-align: center;">(モビリティ)</p> <p>☆東京モーターショー 今期のテーマと狙い 27</p>
--	--

(高エネルギー)

Sニュートリノ探索実験

MLFで最高感度目指す

KEK(素核研)の丸山和純准教授を中心に東北大/京大/阪大/JAEAの研究者で構成される共同チームはJ-PARCの3GeV陽子ビームを用いて大量の $\mu^+$ (ミュー粒子)を生成し、 $\mu^+$ 粒子の静止崩壊で発生する反ミューニュートリノ( $\bar{\nu}_\mu$ )が反電子ニュートリノ( $\bar{\nu}_e$ )に振動する現象を捉える「ステライルニュートリノ探索実験」を計画している。標準模型を超えた第4世代のニュートリノを探索する実験は、アカデミックな華やかさとともに、「発見すればヒッグス粒子以上のインパクト」があるとされ、



3Fの設置場所を示す丸山准教授

国際的に突出したクオリティー(高感度・高信頼度)の高さが期待できる本実験は、2018年度のスタートを予定している。

◆ニュートリノ振動

ニュートリノ振動は、ニュートリノ



MLF中性子実験施設

に質量があるときのみ起こる(1998年までニュートリノは質量が無いと信じられ、実験も人々をコンビエンスするレベルではなかった)。2世代間のニュートリノが異なる質量を持てば量子力学的な重ね合わせの波にズレが生じ振動が起こる。ニュートリノ振動があると、違うフレーバーニュートリノと混合するようになる(ニュートリノの種類と質量の固有状態が違う時に混合角 $\theta$ で混じり合う)。ミュー型-タウ型、電子型-ミュー型の振動はこの12年間で良く研究されてきた。しかし、電子型-ミュー型の混合は小さくて2012年まで良く分かっていなかった。→最近になって加速器、原子炉実験で発見された。

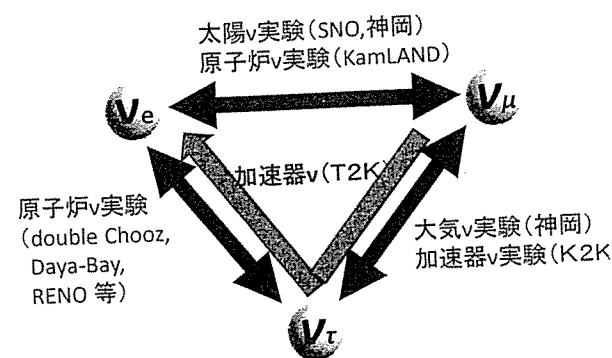


図1 ニュートリノ振動

◆新しいニュートリノ振動

◎新しい振動先としてステライルニュートリノ「 $\nu_s$ 」が現れる。

◎ステライルニュートリノは電弱相互作用をしないニュートリノ(右巻ニュートリノ?/新しいタイプのニュートリノ?/今のところ正体不明)。

◎場合によっては、暗黒物質の候補にもなり得る。

◎電弱相互作用がないので、最終的にステライルニュートリノに振動したものは検出器では見えない(ただ消失したように見える)。

◎発見できれば標準模型を超え、ヒッグス粒子発見を大きく超えるインパクト。

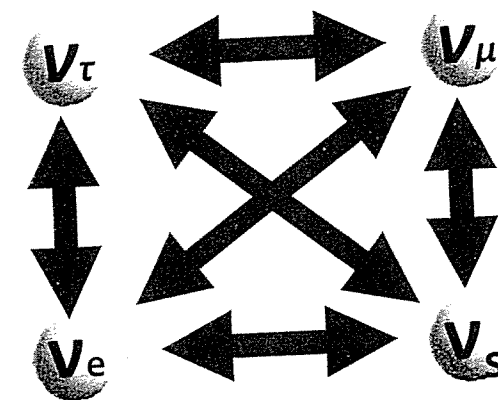


図2 新しいニュートリノ振動

◆ステライルニュートリノ探索

電弱相互作用を通して原子と稀に反応し、検出が可能な(アクティブ)ニュートリノと異なり、原子と全く反応しないステライルニュートリノはどのようにして探索されるのか?ほとんど

のニュートリノの実験結果は、これまで明らかになったニュートリノ振動の仕組み(パラメータ)を導入することで説明できる。しかし、実験予測と異なるニュートリノ事象の増加(超過)や減少(欠損)が世界の研究グループから指摘されるようになり、当初は真面目に考えられなかった「第4のニュートリノ」を実験的に検証しようとする動きが出てきた。20年以上前にLHCの前身であるLEP(電子・反電子衝突加速器)実験におけるZ<sup>0</sup>ボソンの崩壊モード測定により、弱い相互作用をするニュートリノ(素粒子)の世代は「3世代」までとされたが、これは、標準モデルを超えた“弱い相互作用をしない”4つ目のニュートリノの存在を排除するものではない。通常のニュートリノ振動では説明できないニュートリノ事象の超過または欠損を表1にまとめた。

Experiments	Neutrino source	signal	significance
LSND	$\mu$ Decay-At-Rest	$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$	3.8 $\sigma$
MiniBooNE	$\pi$ Decay-In-Flight	$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$	3.4 $\sigma$
		$\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$	2.8 $\sigma$
		combined	3.8 $\sigma$
Ga (calibration)	e capture	$\nu_e \rightarrow \nu_x$	2.7 $\sigma$
Reactors	Beta decay	$\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_x$	3.0 $\sigma$

表1  $\nu_e$ の候補事象

上記のニュートリノ実験で指摘された超過・欠損が本当かどうか、世界中で検証する熾烈な競争が始まっており今後5~10年で大体の結果が出揃うとみられる(線源、原子炉、加速器などアプローチによって一長一短がある)。

◇欠損→2015年くらいから原子炉や線源を使った実験等が開始予定。

◎線源は強力な線源作製、移動が難しい。

◎原子炉は炉に近いので、炉源高速中性子背景事象コントロールが困難。

◇超過→世界でいくつかの実験が計画中(検出器開発が必要なものは結果が出るまで10年くらい要する)。

《MLFにおける $\nu_e$ 探索実験》

KEK・大学がJ-PARCのMLF(物質・生命科学)施設で計画している実験は、過去にLSND(米国)グループが行った加速器による反ミュー

オンニュートリノが関与(振動)する事象:反電子ニュートリノの出現を待ち構える仕組みとなっている。

◆検出器

◎デザインについてはタンクの強度・耐震性等について計算済み。

◎Well established検出器。

◎Double Chooz/Daya-Bay検出器を作製したコラボレータがいる。

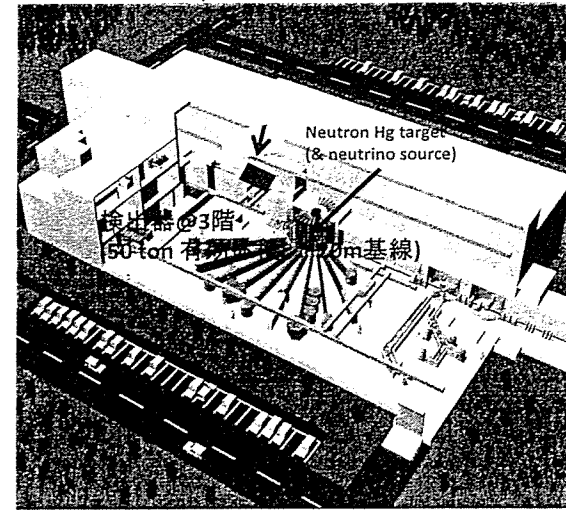


図3 検出器設置場所

ーニュートリノ→反電子ニュートリノ事象を捉える点で共通しているが、本プロジェクトにおける実験感度や信頼度は、「LSNDとは段違いな性能向上が望める(丸山准教授)」

MLF 3階に設置される50t検出器は、東北大がフランスの原子炉ニュートリノ実験(Double-Chooz)で用いたものと同タイプの液体シンチレータを直径6mのタンクに収めたもの。3GeVシンクロトロンのパルス陽子ビームは、ターゲットに当たると大量のミュオン粒子を生成する。そのミュオン粒子が崩壊してできた反ミュオンニュートリノは360度全方位に飛び出す。その発生源から約20mの近距離に置かれた検出器がステ

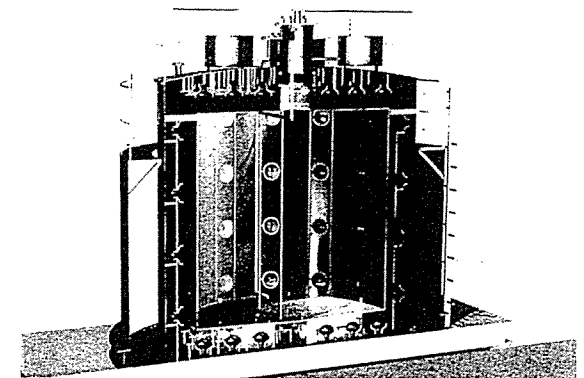


図4 検出器デザイン

◆実験の特長( $\mu^+$ 静止崩壊の $\nu$ 使用)

◎陽子ビーム衝突により標的からは測定妨げとなる $\pi$ 中間子由来のニュートリノ、K中間子由来のニュートリノも発生する。しかし、本実験ではミュオン( $\mu$ )の長い寿命を使って、 $\mu$ から出るニュートリノ( $\nu$ )のみを選

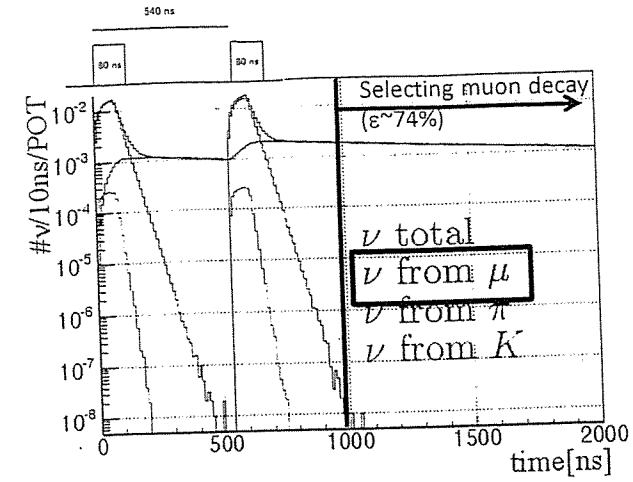


図5

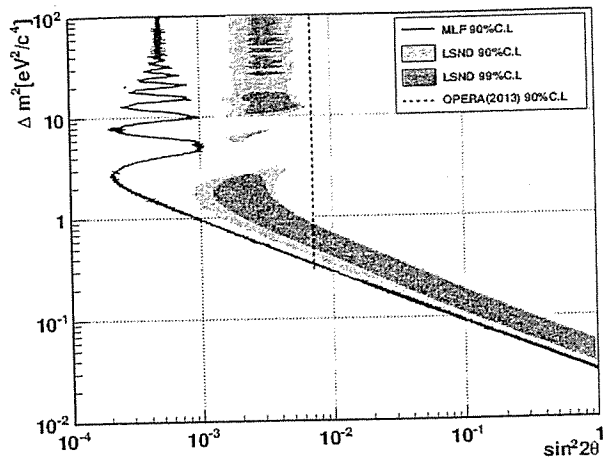


図6 ニュートリノ振動パラメータに対する感度予測

択できる(図5)。

◎  $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_\mu \nu$ 。静止崩壊のエネルギースペクトルは良く知られている( $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}$ 。振動探索は $\bar{\nu}$ 。出現探索で行う)。

◎  $\pi^- \rightarrow \mu^-$ の崩壊連鎖は原子核による吸収によって抑制される( $1.7 \times$

$10^{-3}$ レベル)。

◎ MLFは大強度パルスビームを使う。また過去の実験に比べ、 $\pi$ の生成率( $\pi/p$ )が10倍大きい。

◎ 図6はニュートリノ振動パラメータに対する感度予測を表したもので、領域が最も左に寄ったMLF実験の高感度と高い競争力を示している。

《今後の期待》

現在計画中的の実験は、検出器の製作が2016年に着手されれば、2018年から観測を開始できる。反電子ニュートリノへの振動を厳しく見積もった計算でも5年間のランで約500事象のデータが期待できるという。最初の1~2年間でも2桁台のデータが収集できれば中間発表を行う。「J-PARCのグレードアップされたリニアック(181MeV→400MeV)により、ビームエミッタンスが細くエネルギーも揃ったパルス陽子ビームを使える点は何よりも有利。実験に必要な正ミュオンの静止崩壊のみのニュートリノを使えるため、信頼度が過去の実験とは比較にならない。LSND実験では、K中間子と $\pi$ 中間子由来のニュートリノも混じるため信頼度が低かった。ステライルニュートリノが真剣にレフリングの対象となる $5\sigma$ 以上のデータをMLFでは狙っていきたい(丸山准教授)」としている。