

氏 名 河合 克彦

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1040 号

学位授与の日付 平成 19 年 3 月 23 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Development of a Hybrid Photon-Detector Module for
Next Generation Water-Cherenkov Detectors

論文審査委員	主 査 教授	幅 淳二
	教授	中村 健蔵
	助教授	田中 真伸
	教授	相原 博昭（東京大学）
	助教授	塩澤 真人（東京大学）

論文内容の要旨

Recently construction of the Hyper-Kamiokande detector, 20x larger than the Super-Kamiokande detector, has been planned in order to gain a deeper understanding of neutrino physics.

The photosensor requirements have been examined and a conceptual prototype photosensor module system for the Hyper-Kamiokande detector has been proposed. This photosensor module is comprised of a hybrid photon-detector (HPD) as the photosensor, a charge-sensitive amplifier, an analog memory cell (AMC) as the waveform sampler, a flash analog to digital converter (FADC) and a field programmable gate array (FPGA). In this system, the output signal of the HPD is digitally processed inside the photosensor module and only information regarding peaking time and the peak amplitude of the signal are extracted and sent.

Three key devices in the photosensor module in this study, an HPD, a charge-sensitive amplifier, and an AMC were developed and their performance were evaluated. A 13-inch diameter HPD was developed and proven to have a fast rise time of $\sim 1\text{ns}$, a smaller timing jitter of $\sim 190\text{ps}$ (σ) and an excellent single photon energy resolution of $\sim 24\%$. None of these superior features could have been achieved using a traditional photomultiplier tube structure. A low noise, fast response charge-sensitive amplifier specially designed for the HPD was fabricated. Equivalent noise charge of the charge-sensitive amplifier is estimated to achieve $\sim 2,200$ electrons with an ideal shaping function. A 512-cell AMC was developed and attained a fast sampling speed of $\sim 780\text{ps}$ with the low power consumption of $\sim 72\text{mW}$. A prototype algorithm for digital signal processing was developed and utilizing a general-purpose digital signal processing prototyping hardware environment, a tentative photosensor module system was constructed. As a result, the validity of this photosensor module concept could be successfully demonstrated.

論文審査結果の要旨

本論文に記述される新しい光検出器の開発は、今後のニュートリノ物理学をリードすることになる次世代大型水チェレンコフ・ニュートリノ測定システムにとって不可欠であり、今回の成果はきわめて重要である。

本論文は下記の点において高度な独創性と重要性をもつ。

- ・13インチという大口径のHybrid Photon Detector (HPD) を世界に先駆けて開発し動作させた。現時点ではこのような検出器は他には存在しない。
- ・従来の大口径光電子増倍管に比べ格段に良い時間分解能 ($\ll 1\text{nsec}$) を達成、フォトン計測を可能とするエネルギー分解能を持つことも同時に示した。
- ・上記評価のためにアナログデジタル集積回路を含むシステムを作り上げ、HPD用読み出しシステムのいくつかの重要な仕様の決定を行った。特にHPDに必要な不可欠である高速低雑音プリアンプに関し実験、理論により考察を行い、HPD用として充分使用可能なプリアンプ集積回路を開発した。

これらにより他の研究所、会社において開発しようとしている大型光検出器の性能と比較し全く追随を許さない性能を示している。よって本審査委員会は、提出論文が当研究科の学位論文（博士）として適格であると結論した。