

ニュートリノ観測・実験施設 スーパーカミオカンデ

建築設備の日

201712月6日(水)

株式会社 日建設計
設計部門 設計長
門田 睦雄

施設概要

- ・ 世界最大のニュートリノ検出装置
(地下1000mの天文台と呼ばれる)
- ・ 水槽部分工期：1994年9月～1996年3月
- ・ 所在地：岐阜県飛騨市神岡鉱山内
- ・ 水槽：直径39.3m、高さ41.4mの円筒形水タンク
(5万トンの超純水を蓄積)と、その壁に設置された
約1万3千本の光センサー (PMT)で構成。

CONTENTS

1. 施設概要
2. 日建設計の設計範囲
3. ニュートリノとは
4. スーパーカミオカンデの構造
5. スーパーカミオカンデの建設
6. PMT破損事故と復旧
7. スーパーカミオカンデでの実験
8. ハイパーカミオカンデ計画
9. まとめ

日建設計の設計範囲

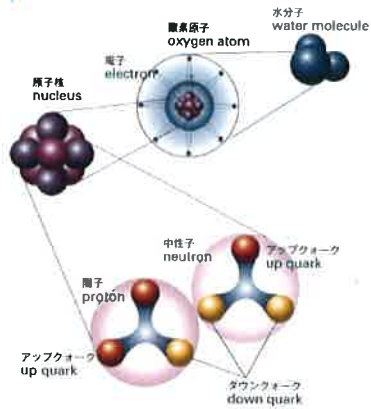
岩盤空洞掘削後の水槽工事のうち以下の範囲を設計した。

- ・ 水槽ライニング
- ・ 水槽天井 (ドーム部床)
- ・ PMT 架台
- ・ 実験室 (監視室)

- ・ ドーム部他の換気設備
- ・ エレクトロニクスハット (スパコン室) の空調
- ・ 給排水設備 (水槽用純水設備を除く)
- ・ 電気設備

ニュートリノとは

素粒子とは



	第一世代 (First)	第二世代 (Second)	第三世代 (Third)
LEPTON	電子ニュートリノ electron neutrino	ミューニュートリノ muon neutrino	タウニュートリノ tau neutrino
	電子 electron	ミューオン muon	タウ tau
QUARK	アップ up	チャーム charm	トップ top
	ダウン down	ストレンジ strange	ボトム bottom

※物質を細かく分割していくと最終的にはクォークとレプトンからなる素粒子に行きつく。ニュートリノはレプトンの仲間であり、三種類存在する。

図1. 素粒子の歴史的变化

表1. 物質を構成する素粒子

ニュートリノとは

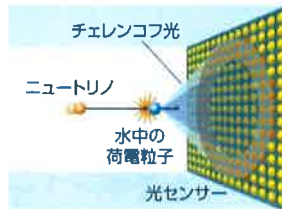
ニュートリノの性質

- 電子から電荷と重さをはぎ取ったような存在。
- 質量は極めて小さく、電子の質量の100万分の1以下。
- 物質とはほとんど反応せず、通り抜けてしまう。
- 太陽ニュートリノだけでも毎秒660億個/cm²降り注いでいる。

ニュートリノとは

ニュートリノを捉える

モノと反応しないニュートリノも、膨大な量が地球に降り注いでいるので、大量の反応物があれば、確率的に一定の数の反応が起こる。スーパーカミオカンデでは、5万トンの水の原子核や電子と反応し、発生するチェレンコフ光を検出する。



高いエネルギーのニュートリノと原子核との反応

ニュートリノと電子との反応

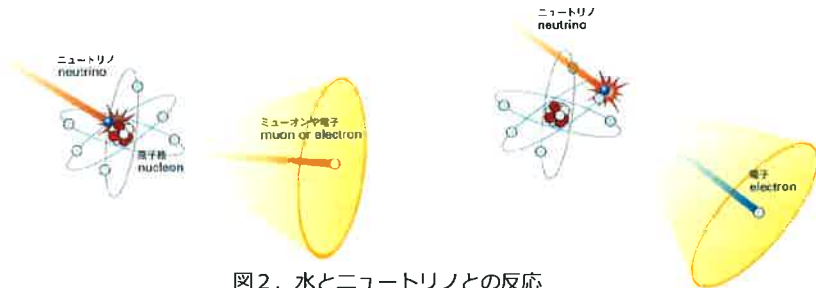
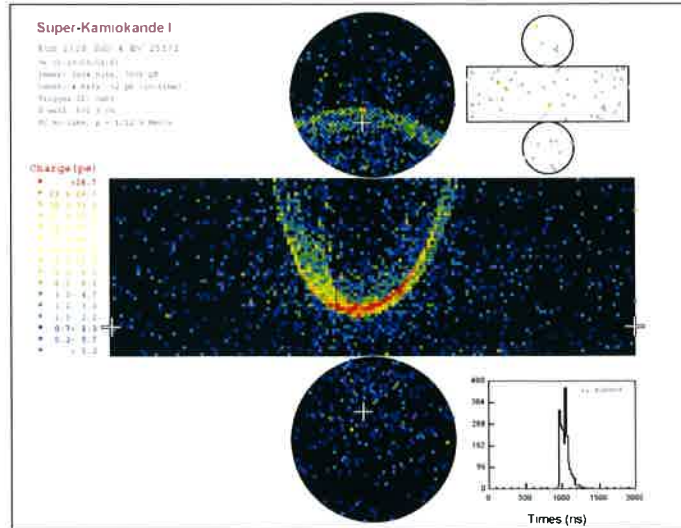


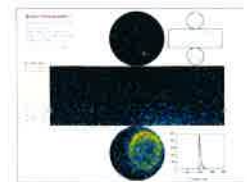
図2. 水とニュートリノとの反応

ニュートリノとは

ニュートリノを捉える



- ニュートリノと水分子の原子核や電子とが衝突する（イベント発生）して発生したチェレンコフ光は、光センサー（光電子増倍管・PMT）に捉えられ、電流となる。
- この電流は水槽上部のスパコンに送られ、映像化される。
- 左の映像はイベントで発生したミューオンのチェレンコフ光を示す。光が円錐状に広がっているのが分かる。この映像形状から、どの方向から来たニュートリノかもわかる。
- このようなイベントは、1日に30回程度発生する。



スーパーカミオカンデの構造



写真1. 光電子増倍管 (PMT)



写真2. 内部 (PMT設置後)

地下1,000m (上部に1,000mの山がある。坑道は水平) にあることで、地上の宇宙線はSKに至るまでに減衰する。

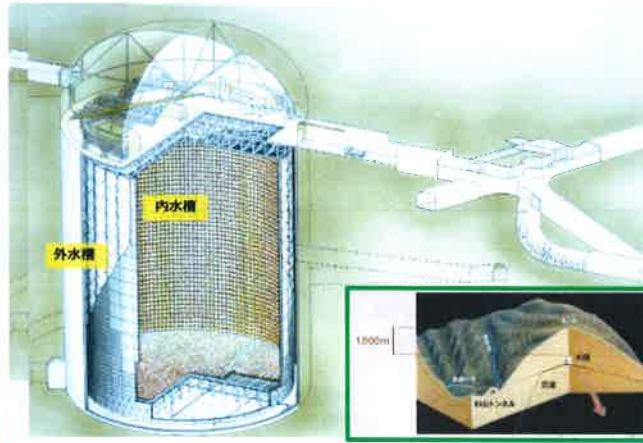


図3 スーパーカミオカンデの構造

スーパーカミオカンデの建設

設計

設計で苦労した点

- どんな研究をしたいか → **何が大切か、何が邪魔か**
- 研究者と設計者の常識の違いのすり合わせ
- 鉱山内での建設 → **地上の常識が通じない**
- 工事費削減 → **足場を掛けない**
- 外部からの水の侵入防止

スーパーカミオカンデの建設

設計



図4 実施設計図 表紙

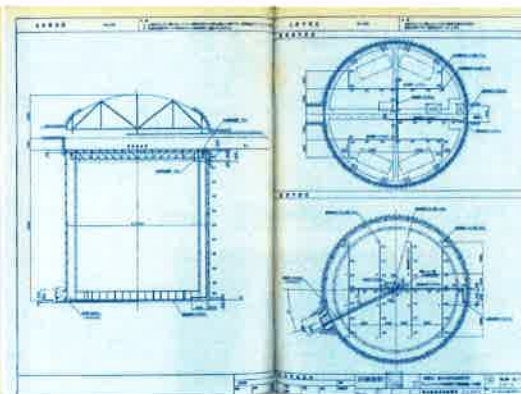


図5 実施設計図 一般図

スーパーカミオカンデの建設

ライニング工事



写真3. ライニング工事



写真4. 移動足場



写真5. 光反射シート

岩盤掘削の完了後、下部からSUSライニングを施し、裏込めコンクリートを打設。足場は移動式で徐々にせり上がっていく。

スーパーカミオカンデの建設

水槽天井工事



写真6. 床版地組

側部のライニングが終わると、底で水槽天井(蓋)用の鉄骨を地組みし、完成後リフトアップする。リフトアップは1日5mで、完了まで1週間かかった。



写真7.
トラス地組

上部床用の鉄骨を
底部で地組み



写真8.
天井PMTの
取り付け

水槽天井のPMT
前に取り付けた。

13

スーパーカミオカンデの建設

側面PMT設置工事



写真9. 側面PMT設置工事

側面のPMTは4個×3個のユニットを引き揃えるごとに下部に1ユニット連結することを繰り返して1列完了。それを円周方向に延ばして完成させた。側面全体が組み上がったら、床面を施工する。



写真10. 床面でのPMTユニットの縦接続



写真11. 外水槽側のセッティング

14

PMT破損事故と復旧

1996年 4月 観測開始 (SK I)

2001年 7月 不具合PMTの交換

2001年11月 **PMT破損事故**

⇒ 復旧工事

2002年10月 復旧工事完了 (SK II)

(PMTを一つおきに再配置)

2005年10月～2006年6月 完全再建工事(SK III)

(破損したPMTを作り直して補充)

2008年9月 データ収集システム一新 (SK IV)

PMT破損事故と復旧

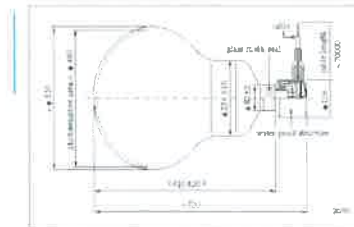


図6. 8インチ光電子増倍管 (PMT)



写真12. アクリル製 衝撃波防止ケース

15

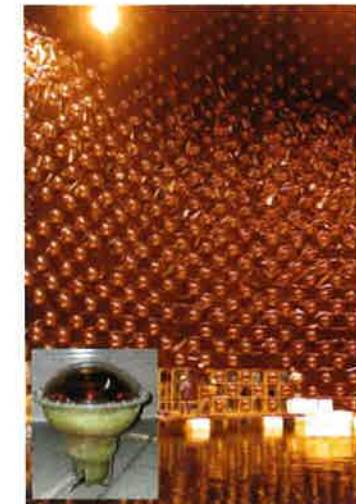


写真13. 復旧工事 (SK2)

破損しなかったPMTを一つおきに再配置した。

16

スーパーカミオカンデでの実験

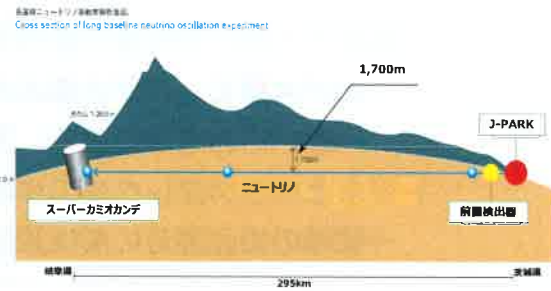
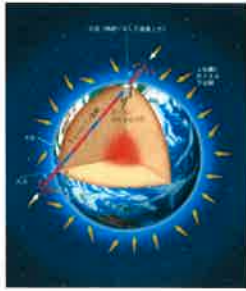
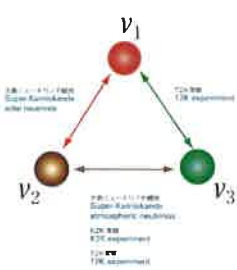


図7. ニュートリノ振動

図8. 大気ニュートリノ実験

図9. T2K実験

- スーパーカミオカンデでの大気ニュートリノの観測によりニュートリノ振動を証明
→ **ニュートリノには質量がある**
- 筑波から神岡に人工ニュートリノを打込むK2K実験でも、これを確認した。
この成果は梶田氏のノーベル物理学賞受賞に結びついた。
- 東海村(T)のJ-PARCから神岡(K)に人工ニュートリノを打込むT2K実験も行われた。

17

ハイパーカミオカンデ計画

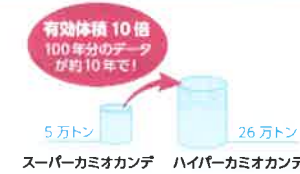
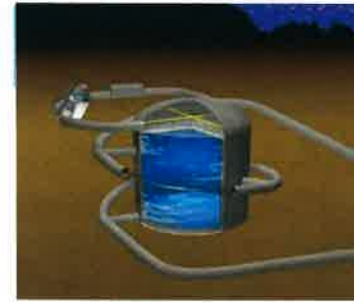


図10. ハイパーカミオカンデ

- 神岡町の地下に、スーパーカミオカンデ(5万トン)の5倍にあたる26万トン級の巨大水槽(直径74m、高さ60m)を建設。
有効体積は19万トンで、スーパーカミオカンデの10倍
- 感度を高めた光センサーを約4万本設置
- スーパーカミオカンデの10倍のデータ収集
- J-PARCの能力アップで、30倍の観測
- 宇宙の起源や進化の謎に迫る新発見を目指す
- 文部科学省の大型プロジェクトの推進に関する「ロードマップ2017」に挙げられている。

ハイパーカミオカンデ計画

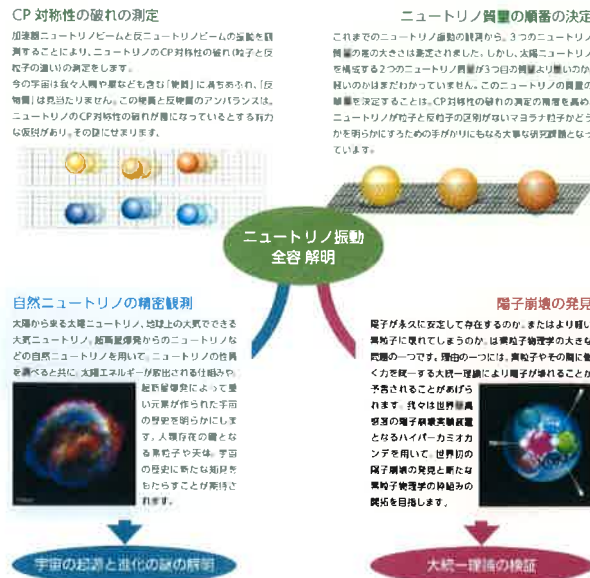


図11. ハイパーカミオカンデ目的

ハイパーカミオカンデ計画



写真14-K, Super-K, Hyper-Kの模型

ハイパーカミオカンデ
26万トン

陽子崩壊の観測？
C P 対称性の破れの測定？
宇宙ニュートリノの観測？

スーパーカミオカンデ
5万トン

ニュートリノ振動の発見

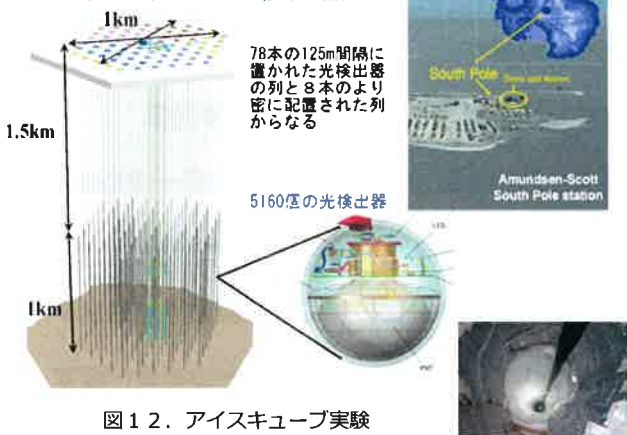
カミオカンデ
3千トン

超新星爆発の観測

アイスクューブ実験 (国際共同ニュートリノ観測装置)

参考

アイスクューブ検出器



- 少数だが、高エネルギーの宇宙ニュートリノを捕らえる。
- 南極の氷を反応物質とし、広範囲の氷との反応を期待
- 氷に開けた穴の中に光検出器をつらし、再び凍らせる。
- 2011年から観測開始
- 日本からは千葉大が参加、石原安野さんは猿橋賞
- 宇宙線と宇宙の高エネルギー現象を探る。

21

まとめ

> 研究者と施設設計者間の常識のギャップの解消

→何が大事で、何がさほど大事でないか

→思い込みを取り除き、問題点の核心に迫る

> 従来と桁違いのレベルの要求に応える

→領域の接点部分に解決策はないか

→研究者と共に知恵を結集

> “初めて”への挑戦

→初めて故に気づき難いことにどこまで頭を柔らかくできるか

→異分野での経験を活かす

※図、表、写真の出典： 東京大学宇宙線研究所パンフレット及び同ホームページ、千葉大学ホームページ

22