

テクノロジーで世界をつなぐ。リオンの技術情報誌

Shake Hands

Vol.4
2017/6

特集

捉える

INNER VIEW

浜松ホトニクス株式会社 顧問

袴田敏一

仕事一筋、でも幸せ

～2つのノーベル賞を支えた男

1個の光子を捉えるために ～20インチ光電子増倍管

限界を超えて ～超純水製造装置

TECHNICAL REPORT 道路交通振動測定

シリーズ わかった！計測器 地震計ーその2

製品温故知新 振動計VA-10

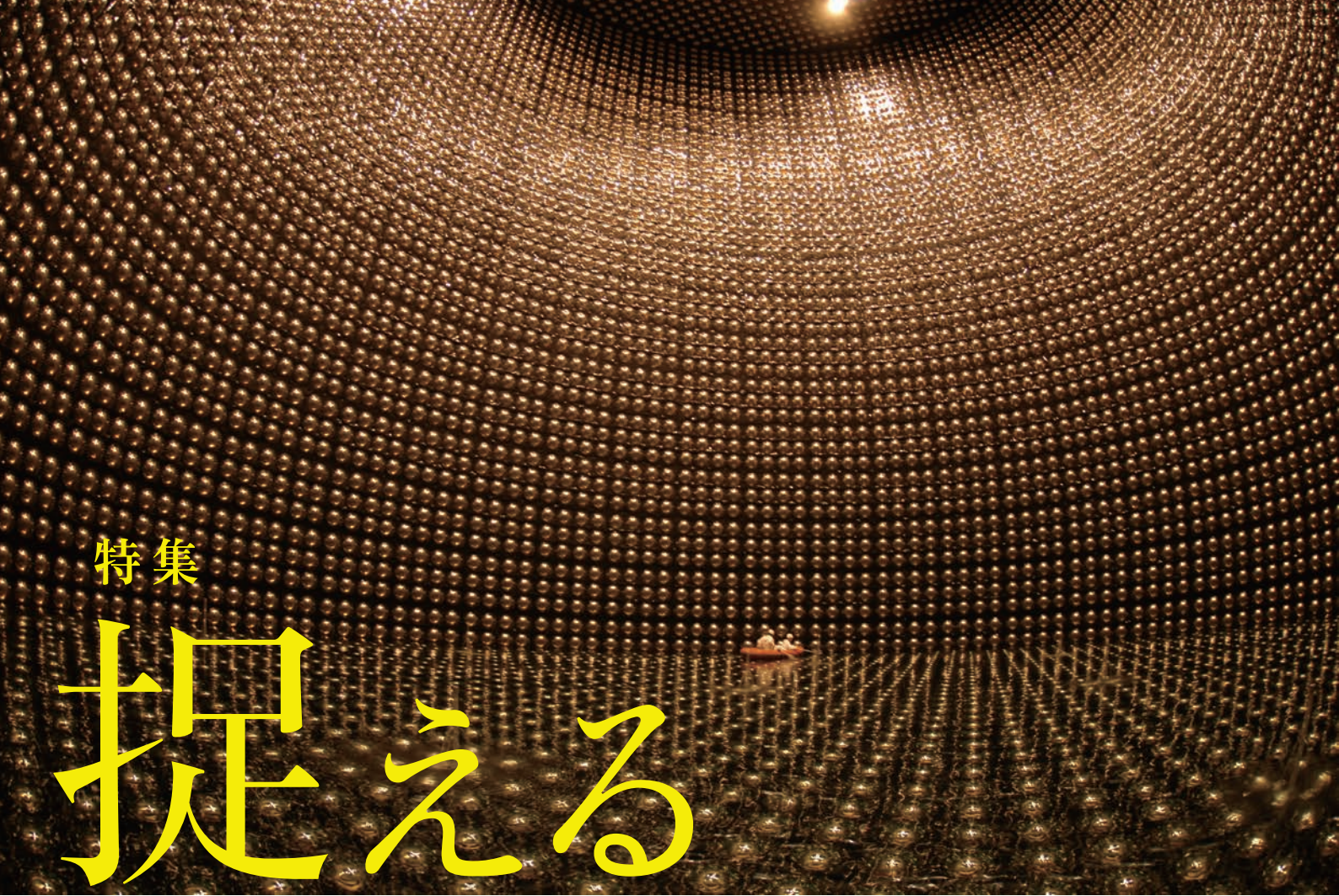
オフィスからこんにちは 九州リオン株式会社

教えて！そうじゅん先生 振動レベルとは何ですか？

サイエンスコラム 風は音を曲げる！？

日本の風景 鯉のぼり

社員はV！将棋



注水中のスーパーカミオカンデ内部
© 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

特集

捉える

チャンスは、待っている者にしか訪れない。

ニュートリノの観測開始は1987年1月。小柴昌俊氏が東京大学を退官したのは3月。

その1ヶ月前の2月、カミオカンデはニュートリノの飛来による光を捉えた。

383年ぶりに目視された超新星爆発により発生した、わずか13秒間の光だった。

なぜ宇宙に「物質」があるのか。

アインシュタインの相対性理論によると、質量とエネルギーは等価である。エネルギーが質量に変わる際、「物質」と「反物質」が等量生じる。「物質」は、正電荷の陽子の回りを負電荷の電子が回って構成されている。「反物質」は、これとは電荷的に逆だ。しかしもちろん、いま存在するのはほとんどが「物質」。「物質」と「反物質」が等量生じたはずの宇宙のごく初期に、何かの原因で非対称性が生じ、現在の「物質」の世界ができた。この非対称性の原因がニュートリノと考えられている。すなわち、ニュートリノの性質を明らかにすることは、宇宙の始まりの解明に結びつく。それが、

ニュートリノがノーベル賞級の発見になる理由だ。事実、一つの光を捉えたことが「ニュートリノ天文学」という新しい学問を生み、宇宙のなぞに迫ることになった。

東京大学宇宙線研究所は、岐阜県飛騨市神岡町の山中に、神岡宇宙素粒子研究施設（以下「神岡施設」）を有している。1987年に小柴昌俊氏らが、この施設のカミオカンデでニュートリノを世界で初めて捉え、ノーベル賞につながった。

さらに、故戸塚洋二氏と梶田隆章氏らは、質量がないと考えられていたニュートリノが振動しているデータを得ていた。後にスーパーカミオカンデで得たデータによって「ニュートリノが振動している＝質量がある」

と証明され、梶田氏が2015年にノーベル物理学賞を受賞した。

現在、カミオカンデはその役目を終え、さらに低いエネルギーのニュートリノを観測する東北大学の施設、カムランドに改築されている。そしてスーパーカミオカンデは、より根源的な事象である「陽子崩壊」を捉えるため、今この瞬間も、水の中を見つめ続けている。

ニュートリノを捉えたもう一人の人物、またそれを支えた技術に迫る。👉

（取材協力）
東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設
浜松ホトニクス株式会社
オルガノ株式会社

INNER VIEW

袴田敏一

浜松ホトニクス株式会社 顧問

仕事一筋、でも幸せ ～2つのノーベル賞を支えた男

文／岡崎道成 写真／吉竹めぐみ

2015年に梶田隆章氏（東京大学宇宙線研究所）がノーベル物理学賞を受賞した時、浜松の地でそれを共に喜んでいた人物がいた。しかし今回は初めてではない。その人物は13年前にも、小柴昌俊氏のノーベル賞を陰で支えていた。「仕事バカ」を自認する袴田氏の仕事と素顔に迫った。

小柴教授からの依頼

「小柴先生と初めてお会いしたのは1974年。電話で仕事の依頼が来た時に『明日伺います』と言ったら『客がいるのに明日とは何事だ』と怒られ、すぐに伺った。幸い製品を評価していただけて、関係が築けた。」
カミオカンデ用の大口径光電子増倍管

の開発から遡ること数年、袴田は小柴教授の依頼を受け、ドイツの高エネルギー物理研究所（DESY）で行われた素粒子実験のJADEプロジェクトに使用する光電子増倍管3000本を納めた。当時の研究者たちは、その安定性に驚いたという。袴田が所属する浜松テレビヘカミオカンデ用の大口径光電子増倍管の開発依頼が舞

い込んだのは、そのような実績があつてのことだった。

「直径20インチ（50cm）」という話を聞いた時、社長は『お前たち、できないのか』と言っていた。私は『できないはずはない』と樂觀視していた。」

当時の同社の光電子増倍管は最大でも直径20cm。その倍以上の大きさのもの



袴田敏一 Toshiyuki Hakamata

1948年12月静岡県生まれ。1967年、静岡県立浜松工業高等学校電気科卒。同年、浜松テレビ株式会社（現・浜松ホトニクス株式会社）入社。1997年、電子管営業部部長。2012年、電子管事業部 事業部長代理。2014年、同社顧問となり現在に至る。また公益財団法人光科学技術研究振興財団の研究事業部長も兼任している。入社以来一貫して光電子増倍管に関わり、東京大学宇宙線研究所神岡施設での研究開始当初から、同社窓口として技術的要望に応じてきた。仕事以外の趣味は航空機の写真集め。

浜松ホトニクス Web サイト
<http://www.hamamatsu.com/>

を、1年以内に作って欲しいとの依頼だった。なぜそのような大口径の製品が必要だったのか。そもそも、光電子増倍管とは何か。

「強い光はフォトダイオードで電気信号に変換できるが、弱い光は、光子を電子に変換して、それを内部で増幅する機構のあるセンサでないと検出できない。つまり光電変換と、増倍の機能が必要。さらに光子1個を測る必要性からできるだけ多くの光子を捉える必要があり、大受光面積（大口径）の光電子増倍管が必要になった。よく『倍增』と間違われるが、倍ではなく、何万倍にもする『増倍』。

小さい受光面の場合、その増倍管に入る光子が少ない。1個の増倍管に1個しか入らないと、センサ自身の自己ノイズと区別できない。倍の受光面で光子が2個入ってくれば、信号の高さが2倍になるのでノイズと区別できる。だからできるだけ大きいほうがよい。実際には直径20インチでもせいぜい光子1個。ノイズとの戦いの厳しい世界。」

営業マンか開発者か

光電子増倍管のことを語る袴田は、技術的な内容にも精通している。しかし当時から肩書はずっと「営業」。袴田は一体どのような役目を果たしていたのか。

「うちは当時小さい会社だったし、専門性が高いので、営業といっても営業技術というか、現場とのつなぎ役をずっとやっていた。好きで営業をやっていたわけではない。目の前にその課題があったから、それを解決しようとしただけ。一生懸命やっていく中で、周りが一緒になって動いてくれた。」

そんな袴田が浜松ホトニクスの前身である浜松テレビに入社したのは1967年。地元の工業高校を出て就職先を探していたときに知った。「電気関係の仕事をしたくてテレビ修理の資格を取った。転勤は嫌だったので地元で探していたら、兄から『浜松テレビという会社がある』と教えられ、受けたら入っちゃった。」

浜松テレビは1926年に世界初の電子式

テレビで「イ」の字を映し出した高柳健次郎博士の流れを汲む。創業者の気質を受け継ぎ、同社は新しいことに果敢に取り組む社風を持っていた。

「社員がみんな研究者。何をやってもいい、営業をしても開発をしてもいい。儲けるのは次の開発をするため。儲けることが目的ではない。利益は新しいことを知ったり、チャレンジするために確保する。大口径の光電子増倍管の開発など、他製品の利益がなければできなかった。」

小柴教授から開発を依頼された20インチ光電子増倍管は、元々ニュートリノではなく、陽子の寿命を知るための陽子崩壊現象を捉えるためのものだった。同社は着手後1年かからずに製品を開発し、1982年までに1050本を完納した。驚異的な開発スピードと言える。

「陽子崩壊を見るという明確な目的と、発見すればノーベル賞だという大きなモチベーション。当社には、未知未踏のことを何でも最初に挑戦するという風土がある。いいテーマだったので、みんな頑張った。それ

なりの苦労はあったが、よく1年でできたと思う。」

「仕事バカ」と言われて

袴田は、仕事を楽しんでた。周りから仕事バカと言われるほど、仕事に熱中していた。大好きな酒でも、どちらかやめろと言われたら、酒をやめると言う。「わからないことを知ることが楽しい。学校の勉強は嫌いだった。大学は最初からいくつもりはなく、電気を学んで早く仕事をしたかったから、工業高校の電気科に行った。就職して最初の4年間は光電子増倍管の検査担当だったが、世の中でも応用分野の限られた製品だったので、それを極めた人、教えてくれる人がいなかった。だから本来の検査の仕事の範囲を超えて、自分の時間を割いて仕組みを勉強して、特性も自分で測定して覚えた。でもそれが面白かった。時間を忘れて、趣味かと思うほど熱中した。」

仕事場は袴田の「一番落ち着く場所」。普通の事務机と左右のキャビネットだが、土日も会社に来て書類の山と格闘していたと言う。

「誰もいない休日の会社は、何でも自分の思ったようにできる。周りの雑音がなく、何でも考えられる時間が好きだった。たまっている仕事が一つずつ片付いていく安堵感もあった。」

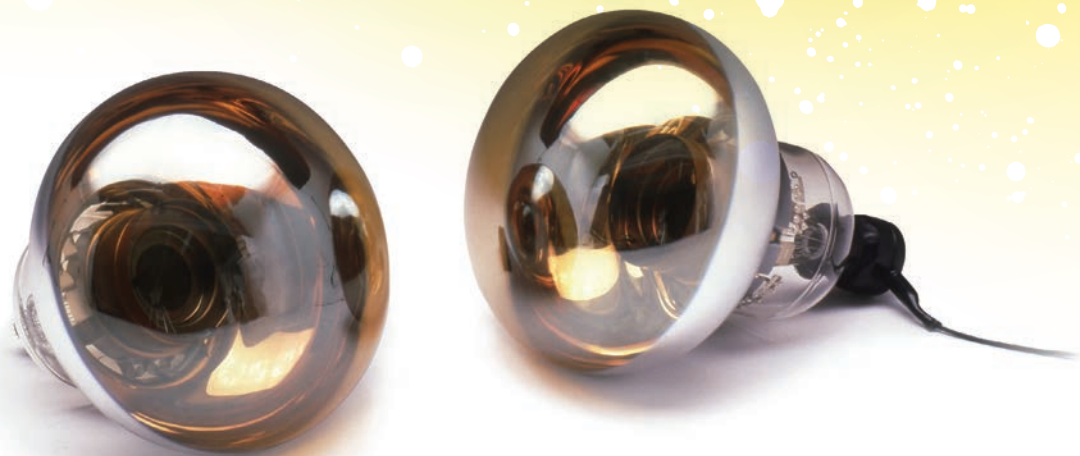
趣味は仕事、ゴールデンタイムは仕事時間という袴田の働き方は、現在推し進められている望ましい労働環境という意味からは、真逆と言えるかも知れない。しかしその中に、いわゆる昨今の長時間労働に見られる悲壮感は微塵もない。

「検査担当後、営業職になった。営業マンとして4年間の経験をお客様と話せることに

魅力を感じた。お客様に『ここがわからない』と言われたとき、自分の経験をそのまま話せばお客様に喜んでもらえた。技術の人に聞いて答えるのではなく、技術的なこともその場でどんどん答えて話を進める。お客様の問題が自分の言ったことで解決する、それがたまらなく楽しかった。人と話をするのは決して得意ではないが、技術的な話をするのは嫌いではなかった。それが40年間続いてきた要因ではないかと思う。ストレスはまったく感じなかった。」

しかし世の中、仕事が好きの人ばかりではない。そういう人へのアドバイスを聞いた。

「たとえば営業の場合、まずは自分が売ろうとしている製品をよく知る。そうでないとお客様の信用は得られない。その上で、お客様と何でも話せる関係を早く作るようにする。そうすると、お客様が本当に必要としているものは何かがわかるようになる。自分は何も偉そうなことは言えないが、遅くまで仕事したり、お客様との話を楽しんだりしている自分の姿を見せる、そういうことをしてきたつもり。後の人に、『あの、仕事ばかりしていたけど、結構すごかったんだね』と言われたら最高に幸せ。」



20インチ光電子増倍管
© 浜松ホトニクス

1 個の光子を捉えるために ～20インチ光電子増倍管

チェレンコフ光。これが宇宙の始まりを解き明かす光の名だ。これを発するニュートリノは、遠い宇宙の彼方からやってくる。人間の目には決して見えない、微かな、微かな光である。

光子(フォトン)と 光電子増倍管

光は、波としての性質と、粒子としての性質をもっている。粒子と考えたときの最小単位の1粒を光子(フォトン)と呼ぶ。オシロスコープで見ると、光量を下げるにしたがって信号がパルス状になり、ある領域からはパルスの高さも一定になって時間頻度が変わってくる。理論的な粒子としての光の振る舞いが、物理的に観測できるというわけだ。ある時間単位のパルスの数が光の量となる。

この光を電気信号に変換するのが光電管だ。しかしごく弱い光の場合、「光」というよりは「光子」を捉えて光電子に変換し、さらに大きく増幅する必要がある。これが

光電子増倍管の機能だ。光電子増倍管は「PMT」または「ホトマル」とも呼ばれている。「光子1個を捉える」とは、豆電球を月面で照らして、地上でその光を検出することに相当する。

光を捉える仕組み

光電子増倍管は、密閉容器に封じられた真空管で、入射窓、光電面、電子増倍部、陽極などから構成されている(図1)。入射光により光電面から放出された光電子は、集束電極により集束・加速され、ダイノードと呼ばれる電子増倍部に衝突する。するとその衝撃でダイノードから数個の2次電子が放出される。これを繰り返すことで連鎖反動的に電子が増倍され、最終ダイノード

ドでは、元の100万～1000万倍もの電子群が陽極に達することになる。これを電気信号として取り出す。

光電子増倍管は、高エネルギー物理学実験、医療装置、バイオテクノロジー関連装置、石油探査装置、天文観測装置、微粒子計など、微弱光の計測に使われている。カミオカンデ用として開発された光電子増倍管は、世界最大となる直径20インチ(50cm)だが、光子の検出原理は小型のものと同じである(図2)。

ニュートリノはノイズ源だった

「物質」を構成する最小の要素の一種であるニュートリノは、私たちの身の回りに無数に飛び交っている。その数は1秒間に

数百兆個。しかし質量が電子の100万分の1以下とあまりにも微小であるため、広大な原子の空間を何の妨げもなく通過してしまい、人体にも地球にも何の影響も与えない。それゆえ、理論上あるとされながらも、実際にはなかなか発見されなかった。このニュートリノがごく稀に原子核に衝突し、荷電粒子が生じる。荷電粒子の速度が媒質中での光速を超えると、一種の衝撃波を生じる。これがチェレンコフ光である。水中の光速は真空中の75%になるため、荷電粒子の速度が光速を超えることが起こり得る。そのため、大量の水を用意すれば、ごく稀にでもチェレンコフ光を検出できる可能性が高まる。

神岡施設のカミオカンデは、1983年に観測を開始した。目的は遠い未来の宇宙の姿を解明するための「陽子崩壊」を捉えることである。陽子崩壊は確率的に極めて稀な現象であるため、その発生頻度を上げることと、微弱な光を捉えることが必要だった。それが大量の水と、外乱(ノイズ)のない環境であり、神岡の山中の地下1000mに3000トンの超純水を擁する巨大な施設を作った理由だ。この水を、壁面に敷き詰められた約1000個の光電子増倍管が見つめる。

チェレンコフ光はニュートリノだけではなく、陽子崩壊などによっても生じる。カミオカンデは本来、この陽子崩壊によるチェ

レンコフ光を捉えるために建設された。ニュートリノは、この陽子崩壊によるチェレンコフ光検出の主なノイズ源であった。検出されたチェレンコフ光が陽子崩壊によるものか、ニュートリノによるノイズかを区別する必要があった。このノイズを調べたことが、ノーベル賞をもたらしたのである。

開発期間は10ヶ月

20インチ光電子増倍管の開発でもっとも苦労したのは、いかに光電子をダイノードに正確に集めるかということだった。効率もさることながら、光電面のどこに光が当たっても同じ飛行時間でダイノードに光電子が到達する必要があった。これが時間分解能を決めるからだ。時間分解能は光

の到来方向を決定する重要な性能である。綿密な電子の軌道計算が行われ、ガラス管の形状、ダイノードの電場構造が設計された。増幅部分については13段のベネシアンブラインド型^{*}が採用された。開発は10ヶ月という短期間で終了し、1980年10月には第1号の試作品ができた。

後継のスーパーカミオカンデでは現在、11,129本の改良型20インチ管と1,885本の8インチ管が稼働中である。

^{*}窓にかかるブラインドのように、狭い短冊型板を数多く組み合わせた構造

取材：岡本伸久

(参考文献)
梶田隆章著「ニュートリノ 小さな大発見」朝日新聞科学医療部／畫馬輝夫著「知らないこと、できないことに価値がある」幻冬舎／Newton別冊「物理学をゆるがすニュートリノ」ニュートンプレス

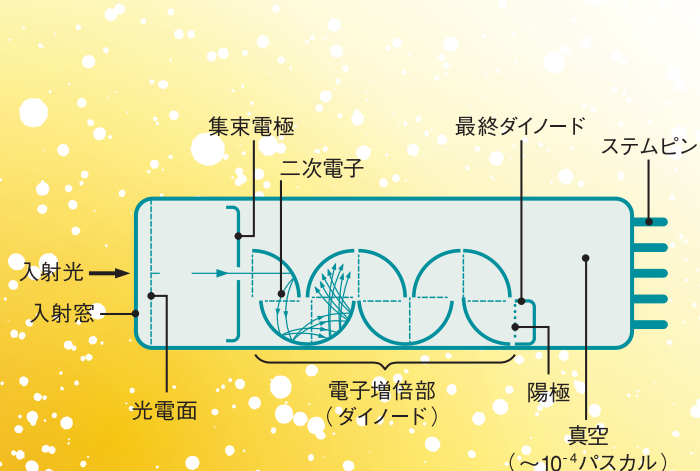


図1 光電子増倍管の電子増倍の仕組み

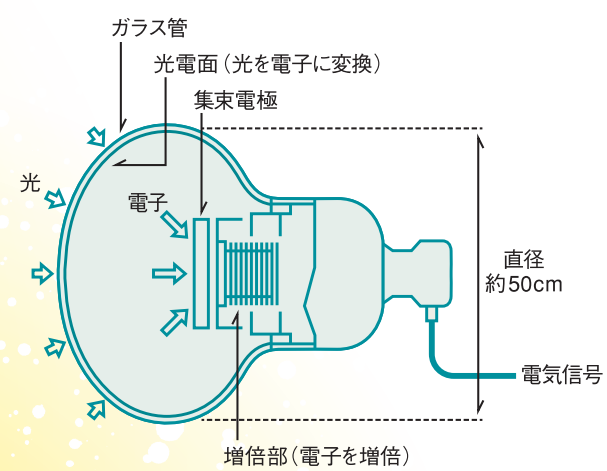
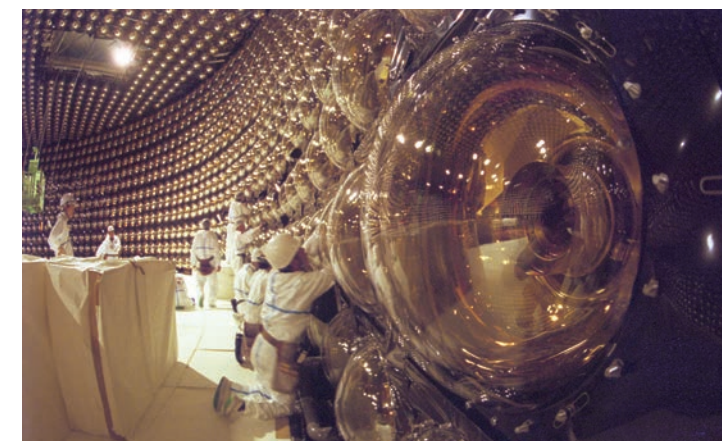


図2 20インチ光電子増倍管の構造



スーパーカミオカンデへの光電子増倍管の取り付け
© 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

限界を超えて ～超純水製造装置

チェレンコフ光という極めて微弱な光を捉えるため、神岡施設では大量の超純水を使用している。
この水を製造・管理するシステムには、この施設ならではの苦労や技術が隠されていた。

なぜ水？どんな水？

陽子崩壊やニュートリノに起因するチェレンコフ光。この光を捉えるのが壁面の光電子増倍管なら、この光を発生させ、光電子増倍管まで無事に届けるという重要な役割を果たすのが、水だ。

ニュートリノが水分子と衝突すると荷電粒子が飛び出し、これがチェレンコフ光を発生させる。その衝突確率は極めて小さいため、できるだけ大量の水を用意することで、観測可能な確率を確保する。そして、発生した貴重な光を減衰させることなく光電子増倍管に到達させるために、可能な限り不純物を除いた超純水であることが必要だ。

超純水の生成

神岡施設の水は神岡鉱山から湧き出す地下水を使用している。地下水は超純水製造装置で処理された後、測定水槽の上部より供給され、循環処理のため水槽下部より製造装置に戻される。スーパーカミオカンデの水槽容量は5万m³。1時間当たり60m³が循環しており、約1ヶ月で全量が入れ替わる。

水の浄化処理においては、イオンや微粒子、気体、バクテリアなどを除去している。金属などのある種のイオンをはじめとする不純物は、チェレンコフ光を吸収した

り、波長を変えたりすることがあるため、イオン交換樹脂などを用いてこれらを除去する。水の純度は電気抵抗で計測する。また水の濁りの主原因であるバクテリアは紫外線殺菌装置で1cmあたり1個以下まで除去する。

放射性物質、水温、水位

実は、チェレンコフ光の観測で最も邪魔になるものは、自然界に存在する放射性物質だ。岩盤に含まれる放射性物質が地下水に溶け込み、それが発する光がノイズとなる。特に神岡施設が設置されている坑道内はラドン濃度が高く、それが地下水に微量ながら溶け込み、チェレンコフ光観測の障害要因となる。そのため、水中のラドンはRO(逆浸透)膜や脱気塔で、水に接する大気中のラドンは活性炭などでそれ

ぞれ徹底的に除去している。

なお、放射性物質は水槽や配管などの材料からも微量ながら溶け出すことから、純度を維持するため水槽内の超純水は循環処理している。また水槽の上部と下部で温度差があると対流が起き、観測に影響を与えるため、水温を13±0.1℃の精度で管理している。さらに水位が0.1mm変化すると0.1m³の水量の違いとなるため、高精度の水位計も導入している。

これらは電子産業向けなどの一般的な用途とは異なる、神岡施設の超純水製造・管理の特徴である。

水と空気のモニタリング

ラドンなどの放射性物質は水中にも含まれるが、水面の上の空気にも含まれ、水に影響を与える。ラドンは直接計測できな

いが、他の微粒子や不純物の量と関連があると考えられるため、水中や気中の微粒子の数を計測して清浄度を管理する。

カミオカンデでは、超純水を生成装置から水槽に取り込む箇所に微粒子計を置いて計測していた。しかしスーパーカミオカンデでは純度を保つため、一度計測した水を再び使用することはない。そこで水を補充することになるが、その水にはまた放射性物質が含まれる。そのため、一度入れた水は廃棄せずに、できるだけ長く循環させたい。水質が安定していることもあり、

モニタリングは定期的なメンテナンス時のみに限られる。

微粒子のモニタリングには、リオンの液中および気中微粒子計が使用されている。

挑戦の日々

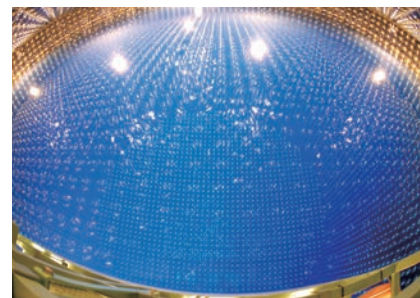
神岡施設の超純水は、現状維持すればよいわけではない。科学では、何かが発見されると、次の疑問が出現するため、システムはさらに改良を必要とされる。1995年の稼働開始以来、それは変わらない。精度の

高いラドン除去、水温管理など、通常の水処理プラントではあまり必要としない機能も、神岡施設には必要だ。困難な課題であることは承知の上。限界を超えて、今も神岡での挑戦の日々は続いている。
取材：岡本伸久

(参考)

[1] オルガノ 確定仕様書

[2] オルガノ株式会社サイト「宇宙劇場へようこそ」
<http://www.organo.co.jp/uchu-gekijyo/index.html>



満水間近のスーパーカミオカンデ
© 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

表1 循環水の処理水質 [1]

比抵抗	17.5MΩ・cm 以上
微粒子	10個/cm ³ 以下 (0.2μm以上) 100個/cm ³ 以下 (0.1μm以上)
バクテリア	1個/cm ³ 以下
溶存酸素	1ppm 以下
ウラン	1mBq/m ³ 以下
ラジウム	1mBq/m ³ 以下
トリウム	0.1mBq/m ³ 以下
ラドン	10mBq/m ³ 以下

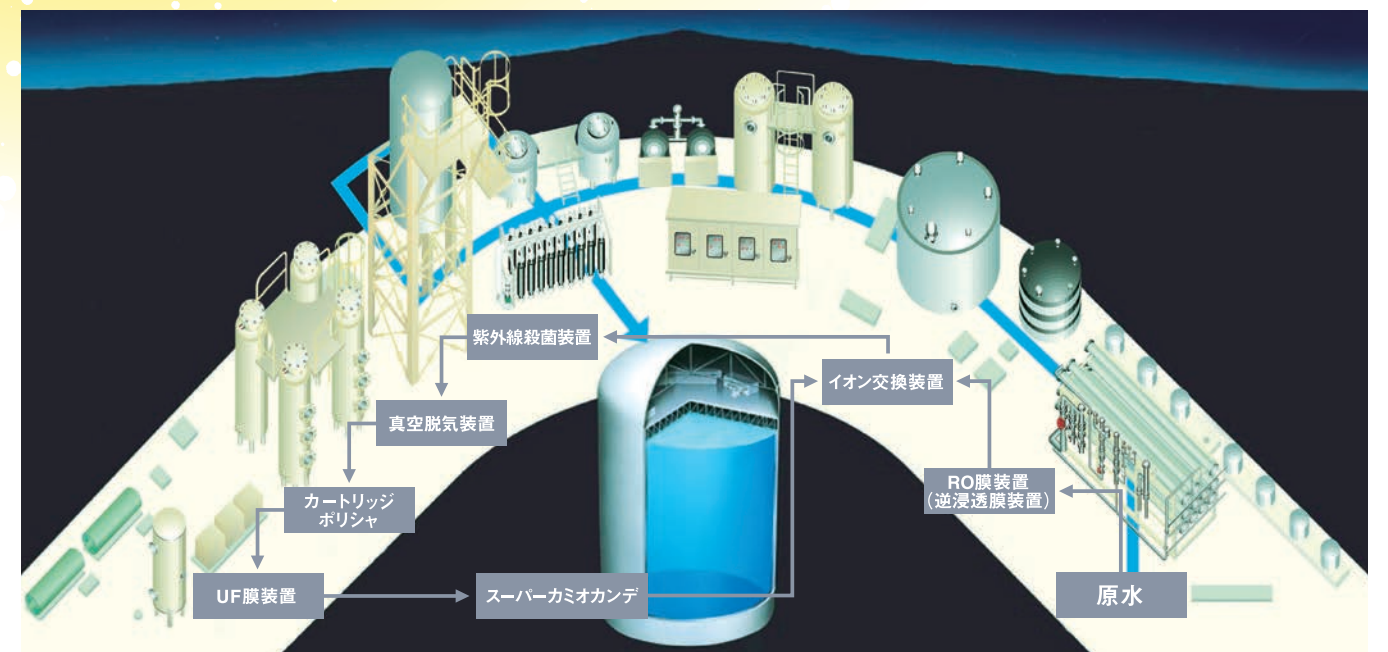


図1 スーパーカミオカンデの超純水製造装置 [2]

道路交通振動測定

2014年に整備された振動測定マニュアルに基づく測定を簡易に行える、
リオンの振動レベル計を用いた振動測定事例をご紹介します。

振動測定マニュアル

道路交通振動は振動レベル計を用いて測定するが、測定器や測定方法にばらつきがあると正しく評価・比較できない。日本では振動規制法により振動レベルの規準が定められているが、振動規制法では苦情の解消が困難な場合があり、その対応のため、2014年にその測定方法や評価方法を提案する振動測定マニュアル^[1]が整備された。測定量は、鉛直・水平2方向の振動レベルのほか、人間の感覚を考慮した1/3オクターブバンド分析も含まれる。

なお、振動レベルは日本独自の評価量で、振動感覚補正を行った振動加速度レベルである。JIS C 1510「振動レベル計」で規定されている[※]。

※ 振動レベルについては p.16 でも解説している。

振動レベル計VM-55

従来、振動レベルの1/3オクターブバンド分析を行うためには、データレコーダによる波形収録や、コンピュータのソフトウェアによる分析が必要であった（図1）。

リオンは現在、振動レベルの測定と同時に振動加速度波形の収録や1/3オクターブバンド分析を簡便に行うことができる新型振動レベル計VM-55を製造・販売している（図2）。

以下にVM-55の主な機能を示す。

（1）波形収録機能

新型振動レベル計の波形収録機能を用いて振動加速度波形を収録する。

収録した波形データは、波形処理ソフトウェアなどで、様々な再分析を行うことができる。

（2）1/3 オクターブバンド分析機能

従来は複数の機器やケーブルを使用して算出していた1/3オクターブバンド分析を、振動レベル計1台で行うことができる。配線のわずらわしさ解消や、測定機材の軽減につながる。

（3）電気信号出力機能

振動レベル計の交流電気信号として振動加速度波形を出力できる。

この信号と騒音計からの音圧波形信号をデータレコーダに同時収録して、振動と騒音を同期して扱うことも可能である。

（4）シリアル通信機能

シリアル通信により、コンピュータに演算値を送信できる。1/3オクターブバンド分析機能と併用し、インターネットや自作プログラムと組み合わせて、遠隔地の演算値をWebブラウザに表示するなどの応用が考えられる。

測定事例： 地盤振動の伝搬特性の測定

前項(2)を活用し、振動レベル計単体で振動測定マニュアルに基づく測定を行ったので報告する。弊社前の道路[※]を通過する車両振動を対象とし、地盤振動の伝搬特性を測定した^[2]。

※都道145号線。1.6mの歩道を有する片側3mの平面2車線道路。

1. 測定方法

対象道路と直交する弊社敷地内の道路に測定点を設け、道路境界を0mとして、5m、10m、20m、40mの位置に1台ずつ振動レベル計を設置した。測定点を図3に、測定条件を表1に示す。道路交通振動の発生間隔を考慮し、30秒間の3方向の1/3オクターブバンド振動加速度レベル L_{max} を繰り返し振動レベル計に記録した。あとで測定結果を振動事象と照合

するために、測定中は、車両通過時に振動を感じた時刻を記録した。

2. 測定結果の算出

記録した時刻を基に、振動レベル計で繰り返し記録した1/3オクターブバンドの30秒間の L_{max} の中から、車両通過時の L_{max} を抽出した。今回の測定では、およそ1時間の測定時間で18個の振動事象を抽出することができた。振動事象発生時における各測定点の3方向の結果を比較し、相関性の低い振動事象は測定結果の算出から除いた。次に、振動レベル(鉛直)の値が大きい上位10個の L_{max} を算術平均して地盤振動の伝搬特性を算出した。

3. 測定結果

図4に0m地点における算術平均結果とその算出に用いた10個の L_{max} を、図5に各測定点における算術平均結果をプロットした地盤振動の伝搬特性の測定結果を

示す。鉛直方向0m～10mの結果は16Hzの振動が60dBを超えており、体感できるレベルに達していると思われる。また、3方向ともに地盤振動の距離減衰を確認することができた。なお、各測定点で相関性が低い振動事象もあるので、できるだけ多くの振動事象発生を記録することが大切である。また、振動事象の発生頻度に対して、 L_{max} の演算間隔を調整して振動事象を分離することも必要である。

(参考文献)

[1] 日本騒音制御工学会 環境振動評価分科会、“振動測定マニュアル(Ver.1)”，2014年8月

[2] 風間ら：新型振動レベル計を用いた環境振動計測手法の提案，日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演集，pp.27～30, 2015 秋



風間亮介 開発部



図1 従来の当社振動測定器一式



図2 新型振動レベル計 VM-55



図3 測定点

表1 測定条件

測定内容	3方向(鉛直、水平2方向)の振動レベル 3方向の振動加速度レベルの1/3オクターブバンド分析
演算値	30秒間の L_{max}
測定時間	約1時間

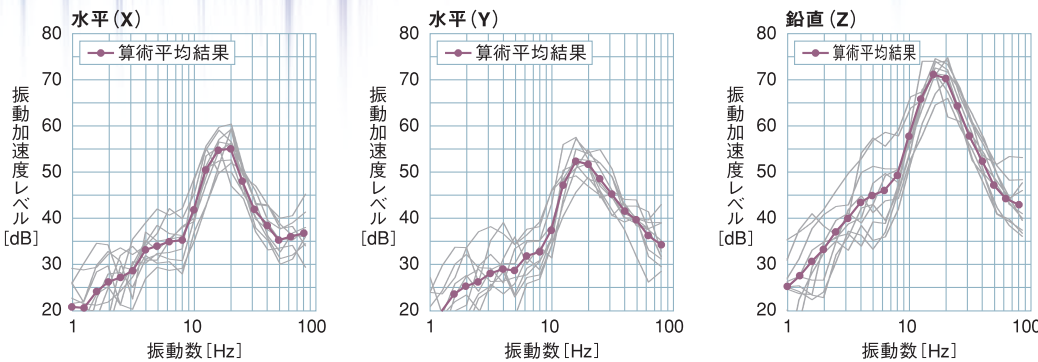


図4
0m地点における
算術平均結果と
算出に用いた10個の L_{max}
(左からX、Y、Z方向)

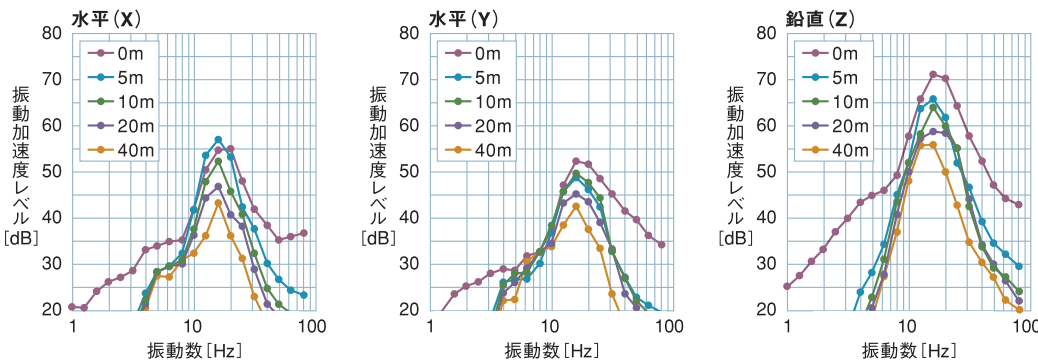


図5
地盤振動の伝搬特性
(左からX、Y、Z方向)

シリーズ わかった！計測器

当社の計測器をタテ・ヨコ・ナナメから3回シリーズで解説します

地震計（第2回） 「地震計のしくみ」

前回はマグニチュードや震度など、地震をどんな数値で表すのかを見た。

今回は地震計のしくみ、すなわち、地面の揺れ（地震）をどのように検出して数値化しているのかについて述べる。

電気式地震計

地震計は、地動儀のような球や振り子などを用いて機械的に揺れを検出する「機械式地震計」と、地震の揺れを電気信号に置き換えて検出する「電気式地震計」に分けられる（図1）。揺れの数値化が可能なのは、後者の電気式地震計である。リオンでは1980年から電気式地震計を開発・製造している。

電気式地震計は、地面の揺れをアナログの電気信号に変換する「感震部」、電気信号をデジタルで数値化する「変換部」、得られた数値を解析し各種制御を行う「制御部」の3ブロックで構成される。また、これら感震部、変換部、制御部の組み合わせにより、「一体型」と「分

離型」に分けられる（図2）。一体型は全てを一つの筐体に内蔵しているが、分離型には、一体型から感震部のみを切り離した「アナログ型」や、制御部のみを切り離した「デジタル型」がある。

感震部

感震部は、重錘（おもり）を不動点と仮定し、地震によって発生するケースの揺れを相対変位として、これを電気信号として取り出すのが基本原理である。

相対変位を加速度として直接電気信号に変換するのが「圧電型」や「静電容量型」、相対変位がゼロとなるように重錘を制御する加速度を電気信号に変換するのが「サーボ型」である。

（1）圧電型

セラミックの圧電効果を利用した方式である。加速度が素子を歪ませることで電気信号が発生する。この電気信号が歪みの大きさと加速度に比例することから、加速度出力を得られる。圧電型は安価で小型にできる反面、稀にパイロ現象や、過渡的な温度変化によりノイズが発生する場合があるため、このノイズの除去が課題である。

（2）静電容量型（図3）

電極間の距離により静電容量が変化する特性を利用した方式で、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）を採用し小型化されている。

可動電極（重錘）とケースに固定されている固定電極1の間の静電容量をC1、同

様に可動電極と固定電極2の間の静電容量をC2とすると、加速度を受けない場合（相対変位がゼロ）は $C1 \equiv C2$ となる。相対変位が発生し加速度を受けると可動電極が加速度に比例して変位するため、 $C1 \neq C2$ （図2 では $C2 > C1$ ）となり、この変化を電圧に変換することで加速度出力を得る。

静電容量型は小型・軽量であるが、その構造上、微小加速度ではノイズの発生が見られる。そこでリオンでは、1軸あたり3つのセンサを採用し各出力の多数決で出力値を決定する「2 out of 3」などの信号処理を行うことで高精度・高信頼性を実現している。

（3）サーボ型（図4）

ケースに対して振り子（重錘）の相対変位が常にゼロ、すなわち動かないように制御し、その制御量を信号として利用する方式である。

揺れが加わるとケースと振り子（重錘）の間に変位が生じる。この変位を位置検出器（図5）が検出して、その信号をサーボ増幅器に転送する。サーボ増幅器はケース

に対して振り子が動かないようにコイルに電流を流す。サーボ増幅器がコイルに流す電流は加速度に比例するので、その電流を電圧に変換して加速度出力を得る。

サーボ型は、高感度・低雑音で地震波形を高精度に検出できる反面、構造が複雑で高価となっている。

変換部

変換部では、感震部で得られた電気信号を計測震度やSI値として処理するために数値化する。

感震部で電気信号に変換された電圧は同じ振動でもセンサによって異なっており、また不要な信号（ノイズ）も含まれている。そのため、まず信号増幅器・減衰器などを使って所定のレベルに変換する。次にデジタル化に不要な信号を、帯域制限フィルタを使って除去する。最後にその信号を、A/D変換器（アナログデジタル変換器）と呼ばれるICでデジタル信号、すなわち数値データに変換する。数値データは制御部に送られる。

制御部

CPUやメモリなどを搭載した部分である。変換部から得られた数値データを解析・演算し、計測震度・SI値などの算出、警報などの判定、通信出力、データの記録などの地震計動作に関わる全てを制御する。

地震計の用途は、大きく制御用と観測用に分けることができる。制御用は工場設備や鉄道の停止、電気・水道・ガスといったインフラの出力制御など、人々の安全に直結した地震計である。一方観測用は気象庁などが設置している計測震度計で、地震発生後に報道などで伝えられる各地の震度を計測する地震計である。

最終回の次号では今後の地震計の可能性について述べる。👉



澤田毅 開発部



図1 地震計の分類

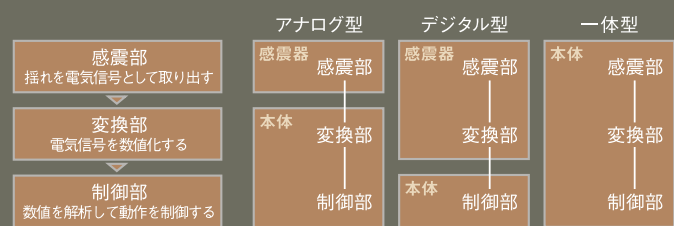


図2 地震計の3つのブロックと組み合わせ

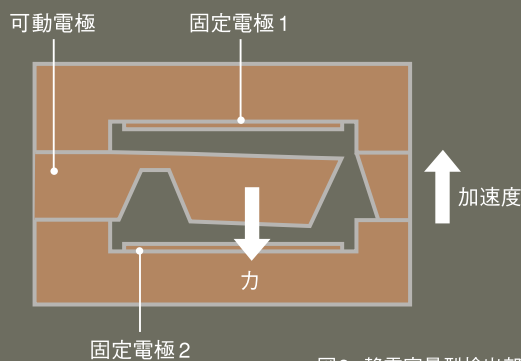


図3 静電容量型検出部

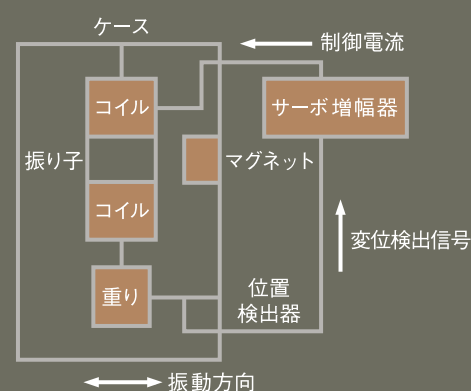


図4 サーボ型検出部

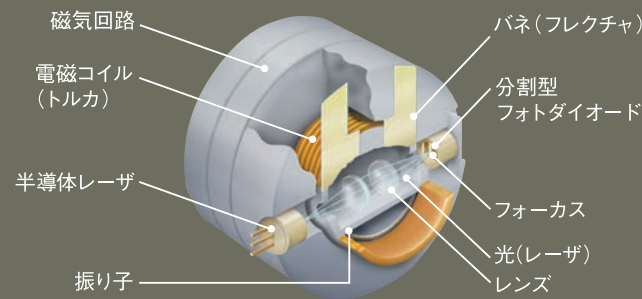


図5 振り子位置検出器概略図

製品温故知新

エンベロープ処理搭載で設備診断の必需品となった振動計

VA-10



マイコンが普及し始めた 1980 年代後半に発売された VA-10 は、
 リオンの野心と技術を注ぎ込んで開発された。
 プラントメンテナンス協会の優秀製品賞を受賞した本器について、
 開発に関わった小村英智さん※にお話を伺った。

※ VA-10 開発当時は音測技術部第 2 グループ

—— VA-10 はリオン初の振動計ですか。

初ではありません。リオンはそれ以前から振動計を製造・販売していました。1986 年当時は VM-61、VM-62、後にベストセラーとなる VM-63 などがありました。

—— なぜ VA-10 が

エポックとなったのでしょうか。

それまでの振動計は汎用でした。この頃、当社の営業部は、豊田利夫博士や小林正

氏など、振動診断の専門家を講師として勉強会を開いていました。豊田博士は設備診断の、小林氏は歯車診断の第一人者です。そんな中で、異常診断に主眼を置き、現場である程度の振動数分析ができるような振動計があればという声がありました。当時市場を席巻していた他社のマシンチェッカは、精密診断のための振動数解析を目的に、小型のデータレコーダをオ

プションとして用意していました。ですから、データレコーダを使わずに現場である程度の振動数分析ができれば、差別化できると思いました。

—— 1980 年代後半はマイコンが普及し始めた時期ですね。

主流はインテルの 8008 や 8080 系でしたが、電池駆動のため μ PD70216 を採用しました。A/D 変換器は 8 bit のためダイナミッ



小村英智さん

クレンジは 6 dB $\times$ 8 bit = 48 dB でしたが、実用には少し足りないと皆が思っていたとき、開発者の一人がディザ (dither) を提案しました。ディザとは、0.5 bit 程度の振幅の白色ノイズを信号に加えることで量子化誤差を軽減する手法です。これでダイナミックレンジが約 10 dB 改善されました。

—— VA-10 の特徴は。

振動による簡易診断と精密診断がですることです。

簡易診断では、定期的にプラント内を巡回して効率的に振動データを採取できるように、500 ヶ所までの路順表と測定項目を記憶できます。路順番号に従って振動計の測定機能が自動的に切り替わり、測定データを持ち帰れる「データコレクタ機能」です。

精密診断用には、FFT 機能を持たせました。画面や分析の情報量を考慮して、データ数 256 個、ライン数 100 に制限しました。それでも 4 倍ズーム機能を組み込んで、400 ラインでも診られます。

—— 他に、これはという機能は。

三つあります。一つ目は包絡線 (エンベロープ) 処理スペクトルです。転がり軸受の診断には必要な機能で、当時はこの機能を搭載した製品は他にありませんでした。今でもお客様の前でエンベロープスペクトル (図 1) を実測して得意になっていた営業マンを思い出します。二つ目は、異常解析用としての振幅確率密度関数※で、転がり軸受損傷を自動診断するための指標です。三つ目は保全以外に品質管理分野にも使ってもらうためのコンパレータ機能です。

指定のスペクトルのレベルが一定の領域内にあれば「良」、外れていれば「不良」の判定をするものです (図 2)。

※ 振幅確率密度関数 (PDF, Probability Density Function) : 全体を 1 としたときの各振幅ごとの確率分布。特定の振幅の発生確率がわかるため、診断に使用できる。

—— ユーザーの反応はいかがでしたか。

発売前に専門家から「こんな難しい機器、保全の人は使わないよ」と言われ、開発責任者としては大きなショックを受けました。しかし 1987 年 11 月に日本プラントメンテナンステクノショーでメイン製品として展示されると、リオンの小間には人があふれ、興奮と熱気が渦巻いていました。VA-10 を見るために 3 日間、毎日来た若い技術者もいました。

—— 現場に受け入れられたんですね。

そうですね。1998 年 6 月に次期製品を発売するまで、約 3000 台を販売しました。販売台数が 1300 台になった頃に、日本プラントメンテナンス協会が開催する賞に応募し、1989 年度の優秀製品賞を受賞しました。小型軽量、手持ちである程度の振動数分析ができるというコンセプトが認められたのです。

—— 本器の開発を通して

学んだことなどはありますか。

機器の操作方法ですね。VA-10 は小型でしたが、ボタンが 30 個以上もあったため、初めて扱う人には少し敬遠されがちでした。この反省から、次の VA-11 はプルダウンメニューを採用して、操作ボタンが激減しました。しかし逆に、使い慣れたユーザーには操作が煩雑だったようです。それで、その後の VA-12 は、よく使う機能は直接ボタン、その他はプルダウンメニューとなり、とても扱い易いものになったと思います。

—— 最後に、開発や設計をする人へのメッセージを。

設計した機材を、実際の現場で使ってもらいたい。絶対に机上だけで設計をしないしてほしいのです。測定器も、マイコン搭載から OS を組み込んだパソコン搭載に変わり、処理速度と機能がますます向上するでしょう。提供する機能の確認や、さらに磨き上げた機材を提供するためにも、現場で使うことや、実際に測定や分析処理に費やす時間を大切にしてください。特にリアルタイム性などが問題になります。真実は想定より奇なり、です。📖

聞き手：関島範史

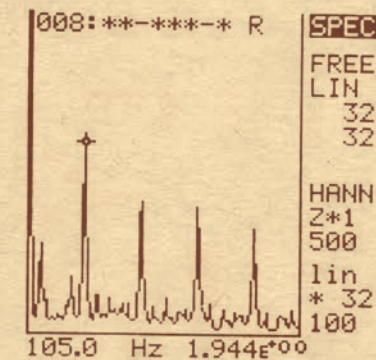


図 1 外輪に欠陥のある転がり軸受が発する振動加速度のエンベロープスペクトル

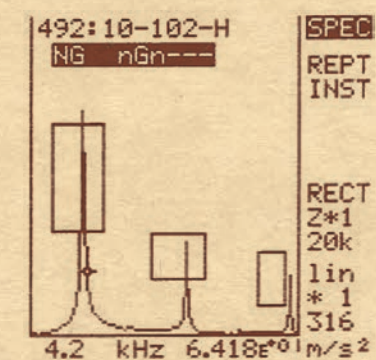


図 2 コンパレータの例



計測器販売の精鋭部隊 九州リオン株式会社

リオンのグループ会社の一つである九州リオン株式会社の計測器部門は、昭和55年にリオンの北九州出張所が当社に移管されたのを機に、3名の担当者でスタートしました。

昨年3月に大分・宮崎回りの東九州自動車道が開通しました。これにより、九州が高速道路でつながり、移動時間が大幅に短縮されました。現在の担当者は10名で、福岡・北九州・鹿児島・三箇所に配置しています。この足を活かしてお客様へ素早く対応できるよう、顧客満足向上に努めています。

当社の大きな特徴は、リオンの環境機器事業部で製造している音響振動計測器から微粒子計測器まで、全ての製品を把握し、各自が販売できることです。一昔前まで「日本のシリコンアイランド」とまで呼ばれていた九州も、今では自動車産業が中心となっていますが、九州の産業が大きく変化しても、

当社の担当者はあらゆる場面に对应できる計測器販売の精鋭部隊です。

音・振動・地震・微粒子と、何でも対応する頼もしい面々です。

大島久美



九州リオン株式会社
福岡県福岡市博多区冷泉町5-18 TEL 092-281-5361
<http://www.krion.co.jp/>



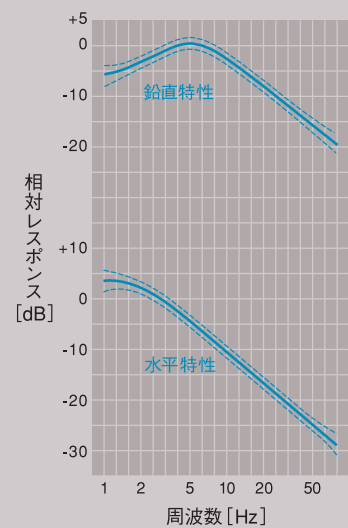
Q. 振動レベルとは何ですか？

振動レベルは振動公害の規制等に使う日本独自の指標で、人の感覚を近似しています※。

振動の大きさを表す値には変位、速度および加速度がありますが、人間の振動感覚は加速度に対応しています。振動感覚は聴覚などと同様、外界からの刺激の大きさの対数に比例する(ウェーバー・フェヒナーの法則)ため、振動加速度の対数をとることで表現できます。さらに、振動感覚はその方向及び振動周波数の高低によって異なるため、鉛直特性や水平特性によって補正します。この補正された振動加速度レベルが、環境振動の評価に使われる振動レベルです。なお、振動規制法では鉛直特性により評価されます。

「振動レベル計」はこのような人の感覚に対応した振動レベルを測定します。一方「振動計」は、振動の変位、速度、加速度などの物理的な値を測定するもので、機械の保守点検、設備診断等に使用されます。

※ JIS C1510「振動レベル計」では「鉛直特性又は水平特性で重み付けられた振動加速度の実効値を基準の振動加速度(10^{-5}m/s^2)で除した値の常用対数の20倍」と定義



振動感覚特性の周波数レスポンス

佐藤宗純 顧問、元産業技術総合研究所 NMIJ 音響振動科長



風は音を曲げる！？

古くは「枕草子」にもみられるように、日本人には昔から虫の音を楽しむ風習がある。私も、よく晴れた風のない静かな夜に、庭に出した小さな火鉢でキノコを炙りながら、きりっと冷やした吟醸酒を味わいつつ虫の音を聴くのが好きだ。そうしていると時々、かなり遠方を通過する電車の音や救急車のサイレンが聞こえてくることがある。これには音の屈折現象が関係している。日中暖められた空気が上空に残り、地表付近より音速が速くなる。そのため音波が下向きに曲がって(屈折して)家々の屋根を飛び越え、遠くに届く(図1)。時には1km先の駅のアナウンスが聞こえることもある。音波の屈折パスを想像しながら呑む酒はまた格別だ。逆に日中は、地表付近が暖められて上空より音速が速くなるため、音波は上方に屈折する。だから音は遠くまでは届かない。

温度だけではなく、風もまた音の伝搬に大きく影響する。風向きに沿った順風方向の伝搬を考えると、地面近くでは摩擦の影響で風速が相対的

に遅くなる。このため音波は順風側では下向きに、逆風側では上方に湾曲する(図2)。このとき、音波が到達しないシャドーゾーンが形成される。この中では、たとえば、200mくらい先に走っている電車が音もなく通り過ぎていく。これはかなり不思議な体験だが生活の中では気付きにくい。

おっと、冷やした酒がぬるくなってしまった。
大島俊也 開発部

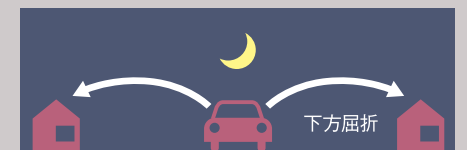


図1 温度による音波の屈折



図2 風による音波の屈折



5月5日の端午の節句には、男子の健やかな成長を願い、日本の空に鯉が泳ぐ。

男女差別と言うなかれ。女子には3月3日に雛祭りがある。「三々五々」とは関係ないだろうが、それぞれに大切な日本の行事である。「屋根より高い こいのぼり・・・」(作詞：近藤宮子)と童謡で歌われた大きなものは、最近では珍しくなった。

写真は下から子鯉、緋鯉、真鯉、吹流し、B737-800。

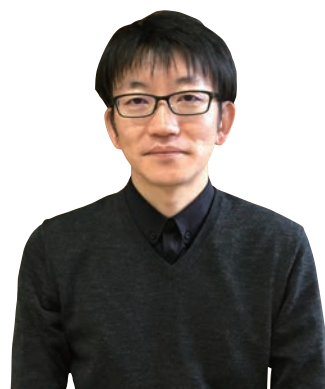
撮影：大江将紘 補聴器製造技術課

社員はV!

仕事にプライベートに輝いている社員の姿をお届け

細川勉さん 微粒子計測器製造技術課 失敗から学ぶ将棋

(将棋とは)
20個ずつの駒で9×9マス上で対戦し、王将を奪ったほうが勝ち。
奪った駒を自分のものとして使える「持ち駒」の複雑さから長くAIには苦手とされていたが、近年ではプロと対戦して注目されている。



いつ頃から将棋を?

わかりません(笑)。物心ついたときには覚えていました。将棋の一番古い記憶は、5歳くらいのときに兄の友達に負けて悔しくて泣いていたことです。

将棋の魅力は?

たくさんありますが、昨年、団体戦で車椅子の方と対戦しました。その方は将棋盤を見ることはできましたが、体が不自由なため、わずかな頭の動きとかすかな声だけで駒の動きを代理の方に指示していました。将棋は老若男女問わずできますが、その方との対戦を通して、どんな人とも対等にさせる将棋の魅力を改めて感じました。

将棋の研究の被験者になったこともあるとか。

大学では将棋部の部長をしていましたが、プロとアマチュアの思考や判断の違いを研究していた先生がいらして、アマチュア側の被験者になりました。ヘッドバンドに視線センサがついていて、対戦中に将棋盤のどこを見

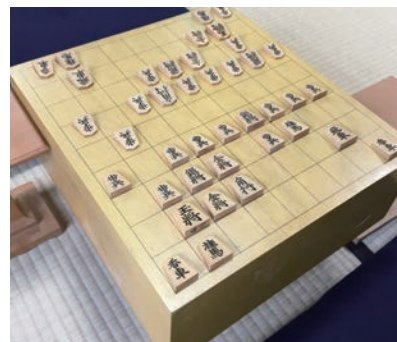
ているかを記録するのです。当時は試験の目的をよく理解していなかったので、視線の軌跡がよく動いていた程度にしか思ってませんでした。しかしテレビでアマチュアが視線を盤面全体に巡らすのに対して、プロは盤面全体を把握して以降は視線を限定していることを知りました。後に、羽生善治さんが同じようなヘッドバンドをしている写真を見たことがあります。羽生さんは私の憧れの棋士です。

将棋のオリジナルはインドだそうですね。

ええ、もともとは駒の種類や数も多かったようですが、少しずつ変化して現在の形になっています。自ら負けを認める「投了」は、他の競技ではあまり見られないと思います。礼儀作法を重んじることも含めて、実に日本的です。

奥深い世界ですね。

そうですね。一度終えた戦いを再度、お互い何を考えていたかを話しながら局面を振り返る「感想戦」というものがあります。将棋は失敗から多くを学ぶことができます。



◎聞き手より
高校時代には県代表として全国大会にも出場した実力を持つ細川さん。普段はクールですが、将棋を語らせたら実に熱い人でした。好みの戦型は「中飛車」だそうです。(岡崎道成)

薬液中の0.03 μm 粒子を測定 フッ化水素酸対応



液中パーティクルセンサ KS-19F

- 最小可測粒径 0.03 μm
- 任意に粒径区分を設定可能 0.03~0.13 μm の範囲で10段階
- セルにサファイアを採用
- 豊富なオプションによりバッチ測定とインライン測定の両方に対応

SA-A1は、さまざまなフィールドで最適な計測が可能です ケーブル配線が困難であった現場などでも無線を使用すれば計測が簡単に!



多機能計測システム SA-A1

- カラー液晶タッチパネル搭載で直観的な操作性
- 現場測定で最適なB5サイズ。さらにアンプ、電池を含んで1.2 kgの軽量設計
- 取り外し可能な充電式リチウムイオンバッテリーを採用。現場でバッテリー交換が可能
- 本体部は防水等級IP54に対応
- オプションで無線計測にも対応。現場で長距離のケーブル引き回しが不要に

多機能計測システムSA-A1に 振動測定の機能を追加



振動分析プログラム SX-A1VA

- 様々な振動測定に対応
製品開発、製品の出荷検査、受け入れ検査、日常点検、異常振動の監視など
- FFT機能やエンベロープ機能を用いた精密診断も可能
- ISO絶対値判定機能を用いた運用が可能
- 傾向管理を行うための相対値判定機能と測定地点登録用の管理ソフトウェアを用意(オプション)

【音響振動計測器関連】4件

◎日本音響学会2017年春季研究発表会(3/15～17 明治大学)

- ・ネットワーク化された多点計測システムの開発と道路交通騒音の測定事例／風間亮介, 横田考俊^{*1}, 松本敏雄^{*1}, 穴井謙^{*2}
- ・戸建住宅群背後における道路交通騒音の多点同期計測と点音源モデルの簡易予測式 F2012* による予測／穴井謙^{*2}, 高山翔太^{*2}, 横田考俊^{*1}, 松本敏雄^{*1}, 風間亮介
- ・音源別環境音可視化に向けた機械学習による多点同期音源自動識別の試み／内藤大介, 砂子学人, 中島康貴, 小野順貴^{*3}
- ・振動測定マニュアルに基づく長期間の道路交通振動測定とその評価／馬屋原博光, 山下広大, 蓮見敏之

【微粒子計測器関連】2件

◎インターフェックス大阪(2/15～17 インテックス大阪)

- ・微生物迅速測定装置「生物粒子計数器」を用いたRO水の測定評価例／水上 敬

◎エアロゾル研究 Vol.32 No.1 (2017)

- ・インクジェットエアロゾル発生器を用いた光散乱式気中パーティクルカウンタの計数効率評価／水上敬, 細川勉, 近藤郁, 飯田健次郎^{*4}, 榎原研正^{*4}, 桜井博^{*4}

^{*1}小林理研 ^{*2}九州工大 ^{*3}NII ^{*4}AIST

展示会

[音] 音響振動計測器関連／[微] 微粒子計測器関連

[音] 機械要素技術展(4/12～14 名古屋)

[音] 人とくるまのテクノロジー展 (5/24～26 横浜)

[音] 騒音制御工学会 2017年春季研究発表会(4/21 千葉工大)

[音] NOISE-CON2017(6/12～14 ミシガン、アメリカ)

[音] 人とくるまのテクノロジー展 (6/28～30 名古屋)

[音] ICSV24 (7/23～27 ロンドン、イギリス)

[音] InterNoise 2017(8/27～30 香港、中国)

[微] 日本臨床工学技士会 総会(5/20～21 青森)

[微] インターフェックスジャパン(6/28～30 東京)

[微] SEMICON West 2017(7/12～14 サンフランシスコ、アメリカ)

[微] SEMICON Taiwan 2017(9/7～9 台北、台湾)

セミナー

当社では、音響・振動に関するセミナーを全国各地で開催しています。

Webサイト (<http://svmeas.rion.co.jp/event/all>)

では開催日や会場、プログラムなどの詳細が確認できます。

プレゼント

「Shake Hands」をお読みくださり、ありがとうございます。アンケートにお答えいただいた方の中から抽選で QUO カードを差し上げます。ふるってご応募ください。

◎QUOカード(1000円券)5名様

【応募方法】欄外記載の本誌専用ページよりご応募ください。

【応募締切】2017年7月28日(金)

【応募に関する注意事項】発送先は日本国内のみに限定させていただきます。発送をもって発表に代えさせていただきます。



表紙について

不確かなものを証明したい、宇宙の起源を知りたい。そんな原動力が、ニュートリノの存在を決定づけるための高度な技術を結集させました。好奇心という名のクリアなレンズが、これからは新しい宇宙の姿を明らかにしてくれることでしょう。(小穴)



編集後記

今回の特集はカミオカンデを取り上げてテーマは「捉える」としました。特集テーマは、内容に沿って決めています。第1号は「測る」、第2号は「飛ばす」、第3号は「響く」でした。これからは皆様に興味を持ってもらえるような情報を発信していきます。(岡本)

お詫びと訂正

第3号p.14の「製品温故知新」左段に誤りがありましたので、お詫びして訂正します。

誤「1980年当時は外国製の液中微粒子計を販売していました。」
正「1980年当時販売されていた液中微粒子計は外国製のみでした。」

本誌のダウンロード、およびアンケートはこちらの Shake Hands 専用ページから <http://svmeas.rion.co.jp/shakehands/>



発行者
清水健一

企画・制作
Shake Hands 編集委員会
編集長 岡崎道成

デザイナー
小穴まゆみ (macmicon)

発行日／平成29年6月1日
Copyright © RION All Rights Reserved
本誌の一部あるいは全部を
無断で転載・公開することを禁じます。

リオン株式会社 環境機器事業部

〒185-8533 東京都国分寺市東元町3-20-41 <http://www.rion.co.jp/>

本誌へのお問い合わせ

環境機器事業部 企画課 TEL (042)359-7860 FAX (042)359-7458
shakehands@rion.co.jp