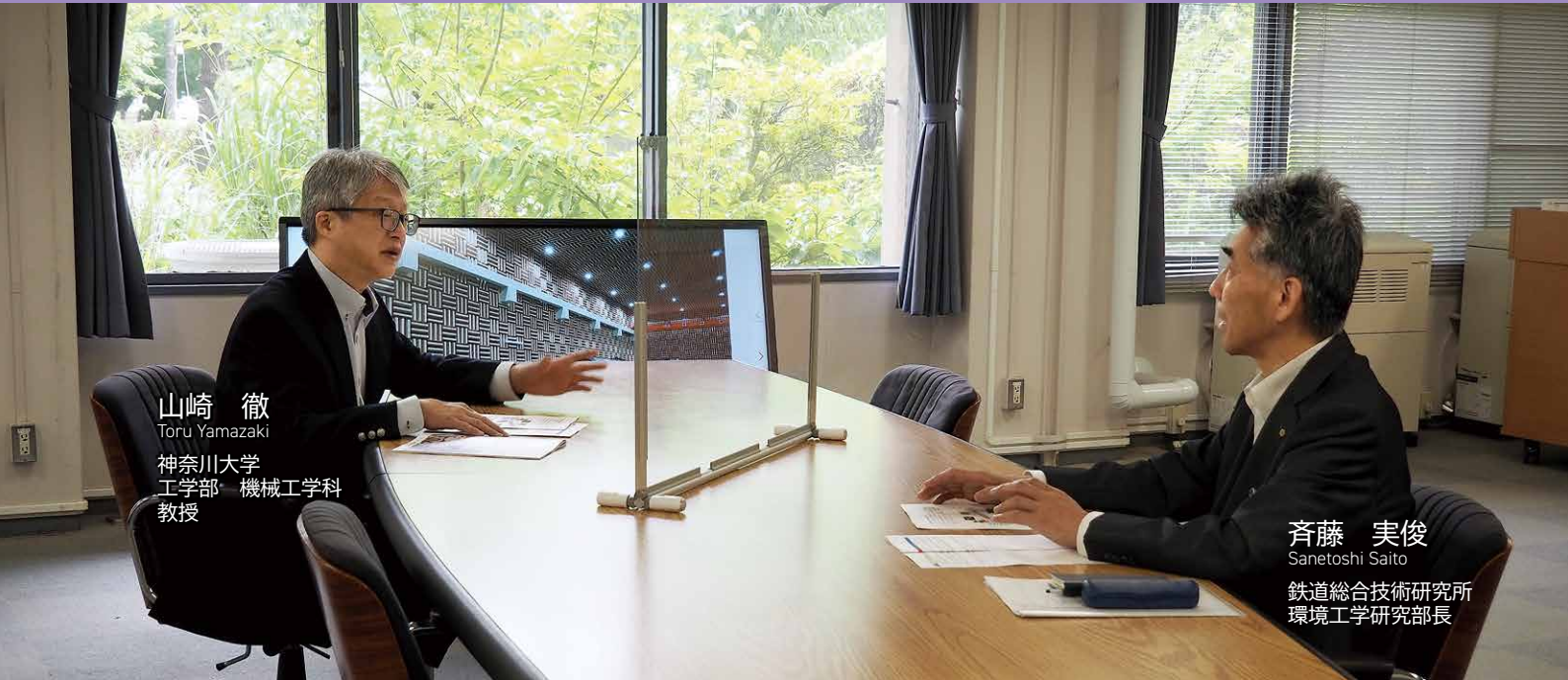


沿線環境に適合する 新幹線の高速化に向けて



山崎 徹
Toru Yamazaki
神奈川大学
工学部 機械工学科
教授

斉藤 実俊
Sanetoshi Saito
鉄道総合技術研究所
環境工学研究部長

モデレーター：村本 勝己 鉄道総合技術研究所 企画室長

新幹線高速化に向けた研究開発の経緯

村本 今年度のRRRでは、鉄道総研の基本計画RESEARCH 2025における鉄道の将来に向けた研究開発に関連するトピックについて対談形式で紹介しています。今回は、第2回目として、大課題「沿線環境に適合する新幹線の高速化」を取り上げて、振動・音響問題がご専門の神奈川大学の山崎先生と、本大課題リーダーである環境工学研究部の斉藤部長に対談して頂くことを企画させて頂きました。まずは、斉藤さんから、本大課題の概要についてご説明をお願いします。

斉藤 本課題の目的を一言で言うなら、どうすれば沿線環境基準を満たしつつ新幹線を高速化できるかということです。新幹線の速度を向上するには、走行性能を向上させることはもちろん必要です。しかし、空力騒音のパワーは速度

の6乗に比例するといわれていますので、速度を少し上げるだけでも沿線環境基準に適合させることの技術的なハードルはかなり高いといえます。これは、日本で高速鉄道を走らせるための宿命みたいなもので、速度向上をめざす限り、継続的に取り組まざるを得ない課題です。

斉藤 また、最近の整備新幹線は北海道とか北陸とか、いわゆる雪国へと伸びていて、台車まわりの着雪も大きな課題です。着雪といますが、実際は氷のかたまりみたいなもので、これが溶けて高速走行中に車両から落下すると信号関係などの地上設備を壊したりするので、駅の停車中に人力で雪落としをしているわけです。これがまたなかなか大変な作業なので、台車まわりの形状を工夫して、走行による空気の流れて雪の付着を抑制するような構造について研究開発を進めています。

山崎 台車への着雪について、鉄道総研内で実験ができるのですか？

齊藤 これについては、外部機関の降雪風洞を使って単純形状に対する基礎検討を行い、さらに弊所の宮崎実験線において車両のスケールモデルを使った走行試験を行っています。模型走行試験では実際の雪を使った実験は難しいので、雪粒子の運動と相似性が比較的高い模擬雪（くるみ粉）を走行面に散布して実験を行いました。

それらの結果をふまえて着雪シミュレーター（図1）を開発し、スーパーコンピューターを使って、着雪の状況がある程度再現できるようになりました。

村本 では、ここで、2000年度以降の、おもに新幹線の高速化に関連した鉄道総研の研究開発テーマについて、整理したものを御覧ください（表1）。実際はこれ以外にもありますが、おもなもの、特徴的なものを抽出しています。目的として、高速走行性能、車内快適性、沿線環境対策に分類しました。これについて、山崎先

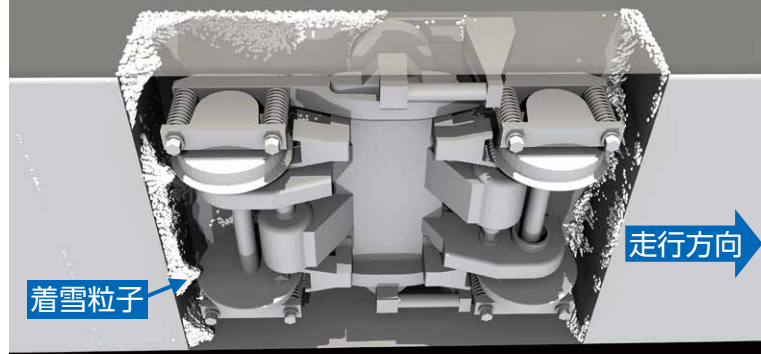


図1 着雪シミュレーターによる台車への着雪の計算結果例（台車を下から見上げた状態）

生はどんな印象をおもになりますか？

山崎 私はどちらかといえば自動車メーカーとの付き合いが深いのですが、自動車メーカーは車内騒音や乗り心地に関する研究に力を入れている印象があります。自動車を買うのは個人でするので、当然でもあります。それに比べると、鉄道は車内快適性はもちろんですが、沿線環境対策の方により力が入っている感じで、自動車とは明らかにモチベーションが違うなあという印象です。

高速鉄道の沿線騒音は何が発生源なのでしょう

表1 新幹線高速化に関連する研究開発テーマの経緯

高速走行性能

車内快適性

沿線環境対策

基本計画RESEARCH 21 (2000~2004年度)	基本計画RESEARCH 2005 (2005~2009年度)	基本計画RESEARCH 2010 (2010~2014年度)	基本計画RESEARCH 2020 (2015~2019年度)	基本計画RESEARCH 2025 (2020~2024年度)
<ul style="list-style-type: none"> ・車両用超電導主変圧器の開発 ・超高速域用パンタグラフすり板の開発 ・新材質トオリ線の実用化 	<ul style="list-style-type: none"> ・高速新幹線パンタグラフ用カーボン系すり板の開発 ・電車線の保守・架設基準の策定 	<ul style="list-style-type: none"> ・車両軽量化のための金属系新素材の研究 ・高速新幹線用ギヤ油の開発 ・高速走行時の電車線の挙動解明と金具振動試験条件の評価 ・高速検測車用パンタグラフに適合した接触力測定手法の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・新幹線速度向上対応ディスクブレーキの開発 ・新幹線速度向上対応空力ブレーキの開発 ・高強度トオリ線の開発 ・線区に応じた電車線構造の再構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・高速車両軽量化のためのダブルスキン構体構造最適化手法 ・次世代シンプル架線の管理手法の提案
<ul style="list-style-type: none"> ・新幹線用低コスト型セミアクティブ制振装置の開発 ・車体弾性振動の解析および低減法の研究 ・車内騒音の音源と伝達系における低減法の研究 ・300km/h超級新幹線における車両動揺抑制のための軌道管理手法 	<ul style="list-style-type: none"> ・制御付き軸ダンパによる車体制振システムの開発 ・伝播経路に着目した車内騒音低減法の研究 ・高い振動周波数域における乗り心地評価法 ・高速鉄道の振動・低周波音の複合環境が乗客に及ぼす影響の評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・可変減衰軸ダンパを用いた上下制振制御システムの実用化 ・複数運動モードに対応した乗り心地向上策の研究 ・車体減衰性能の評価と向上に関する研究 ・複数モードを考慮した車体弾性振動のモデル化と低減手法 ・振動と騒音の感覚特性に基づく車内快適性の研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・上下制振制御装置の適用範囲拡大および性能向上に関する開発 ・台車・車体間の前後振動絶縁による快適性向上 ・新幹線の車体三次元高周波振動の特性評価手法 ・独立型一体内装構造による車内騒音低減手法 ・伝搬寄与度に基づく車内騒音低減対策 	<ul style="list-style-type: none"> ・複合型上下制振制御システム ・車内騒音低減対策評価手法の確立 ・既設新幹線高速化対応用の低弾性省力化軌道
<ul style="list-style-type: none"> ・列車の高速走行に伴い発生する圧力波の理論・数値解析 ・風洞試験による空力騒音の発生メカニズムの解明と評価法の開発 ・現車における空力騒音源の探査・現象解明と低減対策 ・流れと音の数値シミュレーション法の開発 ・浮上式車両の空力・騒音特性の研究 ・新幹線沿線低周波音の低減対策法に関する実験的研究 ・構造物における地盤振動対策法の研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネル微気圧波の予測精度向上と低減法の改良 ・高速用パンタグラフの空力音低減手法に関する研究 ・流れと空力音の計測評価法の開発 ・低空力音車体形状の開発 ・車体空力騒音の音源解析評価手法の改良と低減手法の構築 ・高速列車の走行に伴う低周波音の現象解明 ・新幹線沿線低周波音の現象解明と低減法 	<ul style="list-style-type: none"> ・車両周りの乱流流れ場の影響評価 ・トンネル微気圧波の波形予測法 ・トンネル内対策工による微気圧波低減法の開発 ・トンネル内圧力変動予測方法に関する研究 ・空気流及び空力音統合シミュレータの開発 ・鉄道に係わる固体音予測モデルの構築 ・空力騒音の実験的評価手法と低減対策の開発 ・新幹線高速走行時における明かり区間圧力変動の現象解明 	<ul style="list-style-type: none"> ・新幹線速度向上時のトンネル微気圧波の予測と対策 ・新幹線速度向上対応パンタグラフの基礎検討 ・新幹線速度向上対応パンタグラフの開発 ・鉄道沿線条件を考慮した騒音予測手法の精度向上 ・明かり区間の空力音・圧力変動の解明と対策 ・新幹線速度向上時の地盤振動の解明と対策 	<ul style="list-style-type: none"> ・速度向上時の微気圧波対策の低コスト化 ・高速用パンタグラフの集電性能と低騒音性の両立技術の開発 ・沿線騒音の音源別寄与度の評価 ・台車部空力音・圧力変動の低減対策



う。パンタグラフとかですか？

齊藤 最近の新幹線ですと、台車まわりやパンタグラフがおもな発生源です。ただし、パンタグラフについては、1編成あたり1~2基に減らしたり低騒音な構造とするなど、対策が進んでいます。その結果、現在では台車部が主要な音源のひとつになっています。また、先ほどお話した着雪対策と、台車まわりの空力的な騒音対策とはトレードオフのような関係にあり、両方を満足するものを開発するのが最近の課題の一つです。

村本 あとは、さきほど先生にも実験を見ていただきましたが、トンネル突入時に発生する微気圧波、いわゆるトンネルドン対策も継続的に検討されていますよね。新幹線の先頭形状はトンネル微気圧波対策で変遷してきた、といった

話は、自分が外部のお客様を案内するときに、齊藤さんから何度も伺ってきました。

齊藤 微気圧波は圧力勾配(圧力の時間変化率)に比例します。列車がトンネルに突入するとき、列車先頭部がトンネル内の空気を圧縮することで圧力が増加するわけですが、先頭部を長くすれば、その分圧力の立ち上がりを緩やかにすることができますから、微気圧波を増大させずに走行速度を上げることができます(図2)。最近では、先頭部の断面積変化率を一定にするのではなく、あえて段々をつけるとよいことがわかってきました。

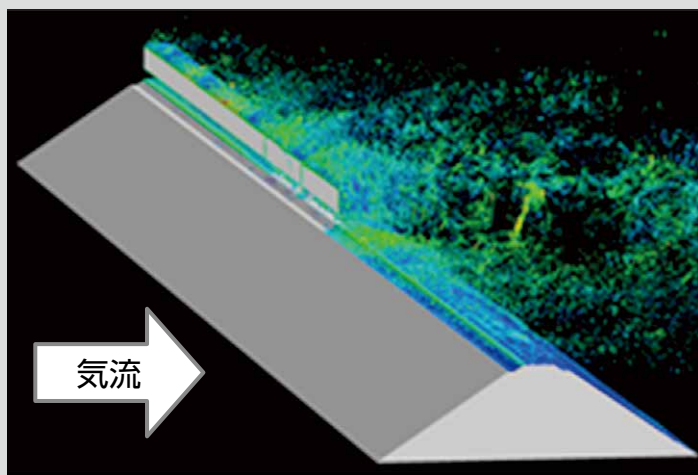
山崎 そういった開発は、CFD(数値流体力学)¹⁾解析などで行うのですか？

齊藤 CFD解析はもちろんやりますが、軸対称の簡易なモデルによる実験と並行してケーススタディーを行って精度を高めていきます。さらに、今日御覧いただいた新しい実験装置(低騒音列車模型走行試験装置)は、実際の列車に近い形状や構造を再現できますので、これを活用してより精度の高い実験ができるようになると思います。将来的には、パンタグラフや台車からの空力音、より実際に近い条件での車両周りの流れ場の再現、横風による空気力の評価などさまざまな課題に活用するため、車両や電力などほかの研究部と連携できればと考えています。

山崎 自動車の分野は、今100年に一度といわ

CFD (数値流体力学)

計算領域内の空間を分割し、分割された小さな領域ごとに流体の運動に関する方程式をコンピューターにより数値的に計算することで流れ場を再現する手法である。近年のコンピューターの性能向上とともに飛躍的に進歩しており、流れに関する研究ツール、設計ツールとして風洞実験とともに広く活用されている。



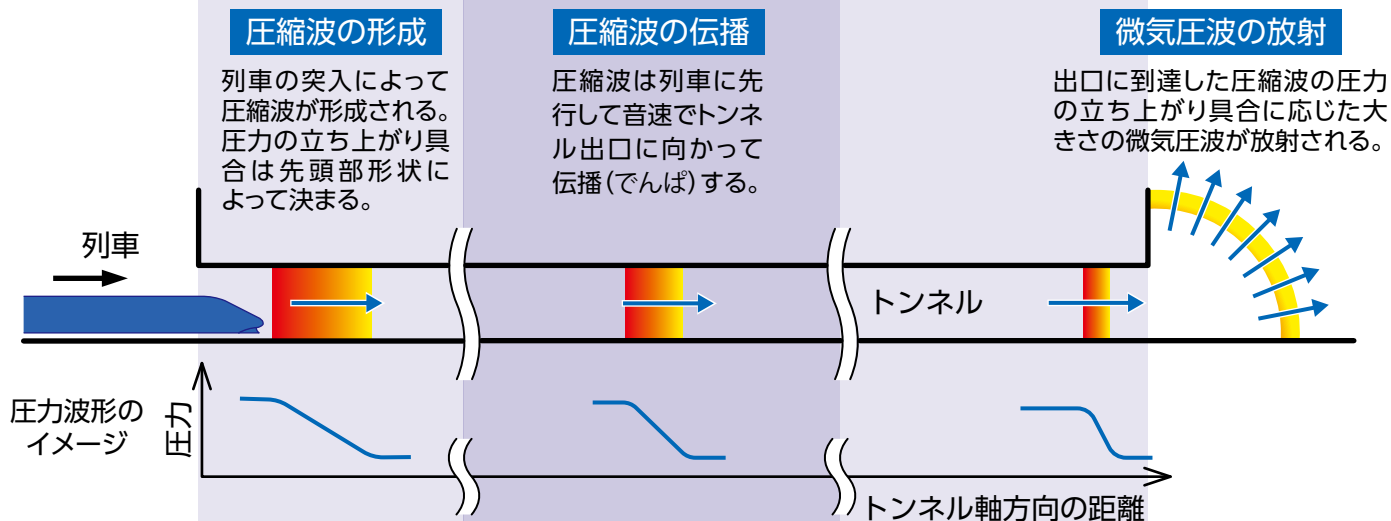


図2 トンネル微気圧波と先頭形状との関係

れる大変革の時代を迎えていて、今まで以上にスピーディーな開発が求められています。そういったなかでは、1社だけでなく、複数社から知見を集めて共創するのが重要で、そのような動きも出てきていますし、私の方でもやっています。鉄道総研にはそもそもいろいろな研究分野があってそれぞれの知見を持ち寄って共創できる環境ですよ。その方が楽しくもあるし、大学にもまずないスタイルだと思います。

を走らせるものだと想像していたんですが、ああ、ちゃんと無響室で走らせるんだなと。これなら、模型試験でも十分に低周波の帯域まで測

低騒音列車模型走行試験装置

村本 では、新しい試験装置の話に移りましょうか。低騒音列車模型走行試験装置(図3)について、実物をご覧になった印象をお聞かせ願えますか。

山崎 今日はじめて実物を拝見させていただきましたが、もっと開放系の屋外みたいなところ



等価騒音レベル

自動車や鉄道からの騒音のように時間的に大きく変動する騒音の評価量のひとつで、右図に示すように一定時間内の騒音のエネルギーの総和を時間平均したものである。変動騒音に対する人間の生理・心理的反応とも比較的良く対応することから環境騒音の評価値として国際的に広く用いられている。

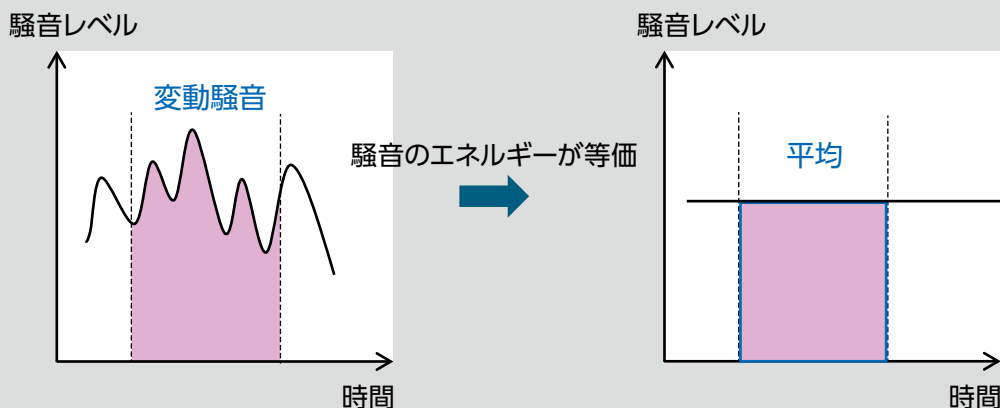




図3 低騒音列車模型走行試験装置

定できるなと思いました。

齊藤 今回新設した装置は、まさに低周波の圧力変動対策をターゲットとして開発したものです。高速列車の可聴音に対する研究開発は米原風洞で行っていますが、風洞では暗騒音が低周波域にあるため、圧力変動がノイズに埋もれてしまいます。また、実際の列車編成に基づいた複数の台車などからの間欠的な圧力変動も再現できないため、この装置を開発しました。

鉄道総研では、新しいマイクロホンアレイ装

置と最新の信号処理方法を導入することで、移動音源のどの部分から音が出ているかということを高分解能で可視化(図4)することができます。この手法を新しい模型走行試験装置に適用することで、より効果的な圧力変動対策を開発できるようになると思います。

山崎 道路では、沿線騒音が問題になるようなところは基本的にいつも車が走っているので個別の音源を追いかけるのではなく、**等価騒音レベル[®]**(音のエネルギーを時間平均化した騒音

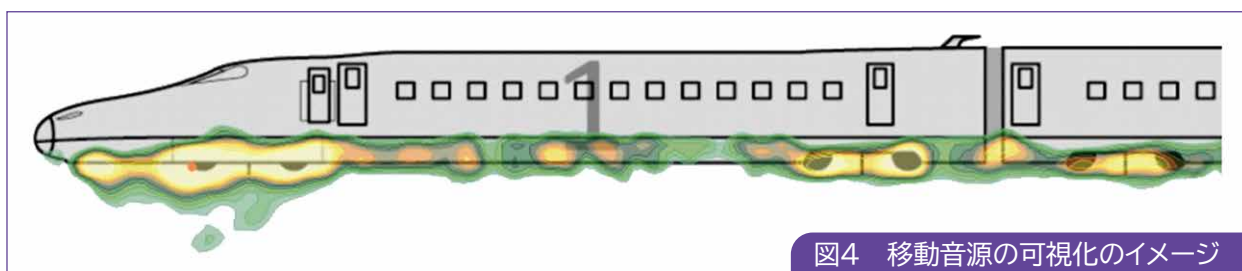


図4 移動音源の可視化のイメージ



レベル)で定常音的に評価します。ただし、この評価法は、例えば夜間に車がまばらになるようなところの評価には向かないと思っています。車がまばらになると等価騒音レベルは下がりますが、暗騒音が下がった分、人間には同じ車でもむしろうるさく感じたりします。鉄道の沿線騒音はまさにそれですから、こういった装置を活用して音源をきめ細かくとらえて対策をとっていく必要があるということですね。

齊藤 本装置の本来のターゲットである、高速走行時の圧力変動については、まだ実験データが得られていません。今日、装置を見ていただいてわかるように、模型とガイドレールとのしゅう動音が暗騒音となるのが気になっています。

山崎 わかっている暗騒音はフィルターでカットできますが、ターゲットとする帯域と暗騒音が

かぶらないようにしないとイケないですね。ガイドについては、金属どうしの接触なので高周波帯域が卓越するから圧力変動への影響は少ないと思いますが、実験を繰り返すうちにガイドレールに波状摩耗のような問題が出てくるかもしれない。そうすると、もっとゴロゴロした低周波側の暗騒音が卓越してくる可能性があります。

齊藤 ガイドなどとの接触部分については、実験結果をふまえて改良していく余地がありますね。

山崎 ところで、今日見せてもらったような実験はどのくらいの頻度で可能なんですか？

齊藤 現状、1日に2~3回といったところでしょうか。模型の発射よりも、壊さずに止める制動装置の準備が大変で、リセットにかなり時間がかかります。また模型制動時に車両模型が破損したこともあり、軽量化を維持しつつ強度向上を図る必要があります。

山崎 そうやって、全部自分でやるというのはいいですね。失敗もまた新たな経験になる。模型が壊れたらまた模型の構造を工夫すればいい。トラブルがあるから研究は面白いと思える研究者が必要だと思います。

こういう装置のよいところは、実際にはできないようなことをどんどん試せることにあると思います。実際の車両として必須の機能を押さえると実現困難な構造や形状であっても、とにかく空力的に突き詰めてみて、それでもここまでしか騒音を低減することができないという限界がわかれば、研究の方向性や目標の精度が上がります。

齊藤 従来の延長ではできないようなアイデアが出てくる可能性もありますね。

山崎 新幹線の高速化には夢があります。この装置の完成で、研究者がもっとチャレンジできる環境が整ったと思います。超高速新幹線の実現に期待しています。

村本 本日はお忙しいところありがとうございました。