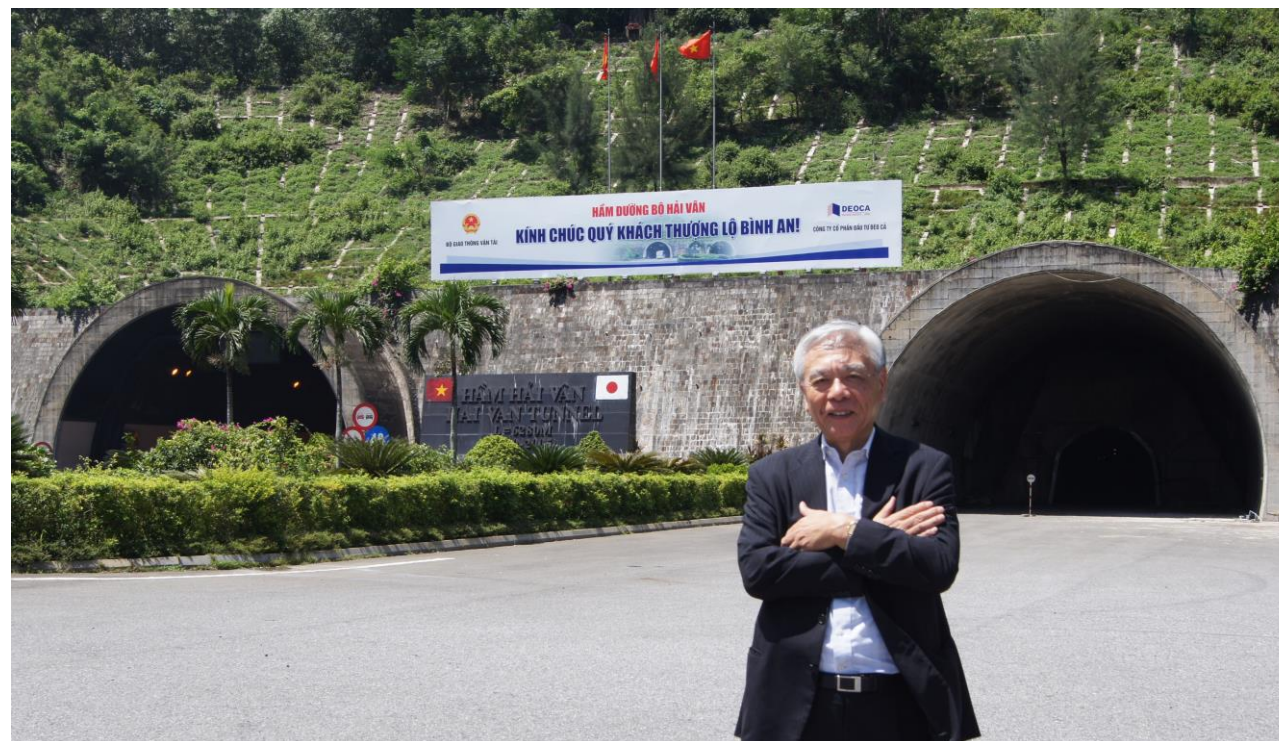




開発途上国における 道路トンネル換気制御システムの 取組みについて

株式会社 創発システム研究所
代表取締役 中堀一郎



1. 恵那山トンネル / 関越トンネル



恵那山トンネル 8.7km 1975年開通
中央自動車道
恵那山(2191m)の北麓 中央アルプスの南端



関越トンネル 11km 1985年開通
関越自動車道
谷川岳(1978m)の直下 上信越高原国立公園

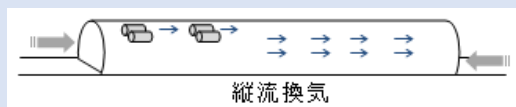
2. 道路トンネル換気制御システムの運用

我国で発達



縦流換気

自動
制御



- ① 平常時換気制御方式
- ② 火災時換気制御方式

センサの情報により

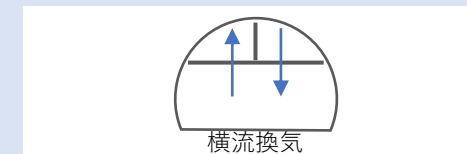
コントローラが換気機を自動制御

欧州



横流換気

手動
制御



センサの情報により

運転員が換気機の運転台数を
選択

3. 自動制御の前提

車両排ガス量

一酸化炭素濃度 (CO)
煙霧透過率 (VI)

車両換気力

ピストン力

火災熱煙発生速度

5MW (小型)
10MW (大型)

縦流トンネル

換気 シミュレーション モデル

トンネル内換気のシミュレーション

自動制御

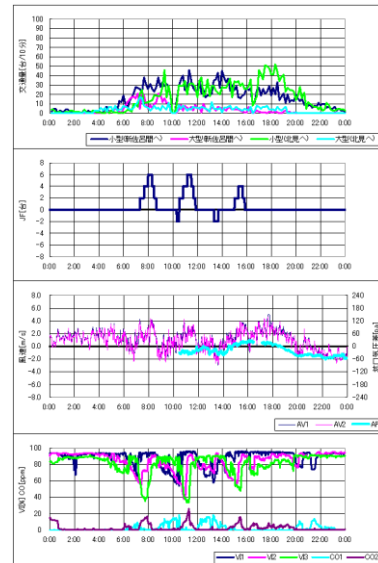
4. 換気制御システム

快適

平常時

恵那山トンネル
FF・FB制御

交通予測・汚染フィードバック

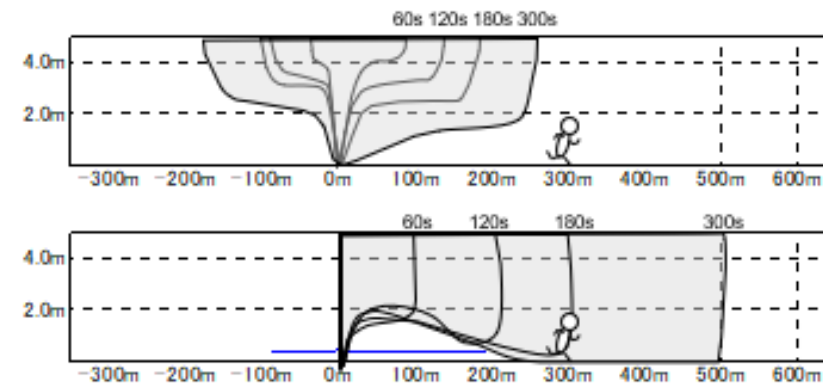


安全

火災時

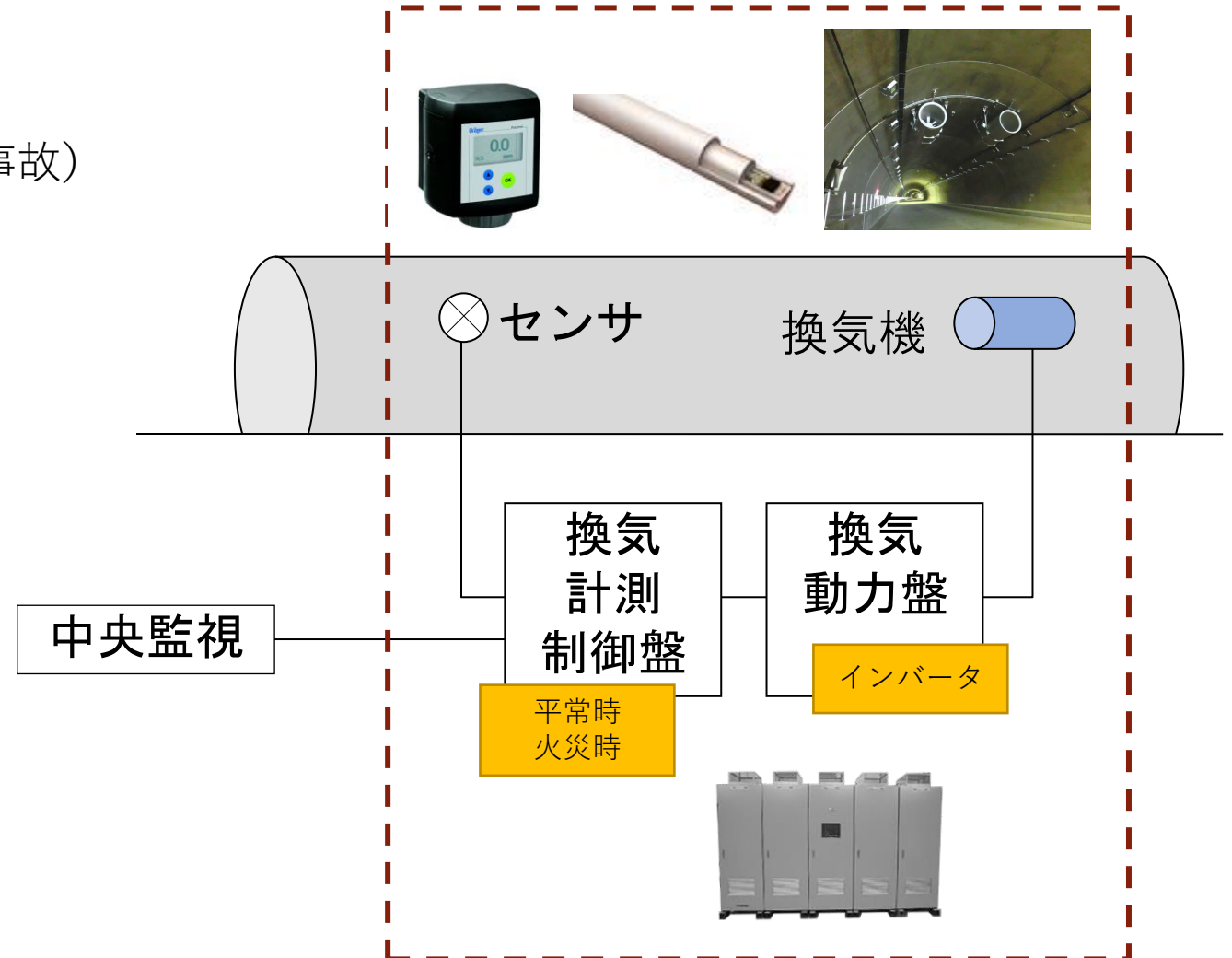
関越トンネル
風速零化制御

火災時安全避難

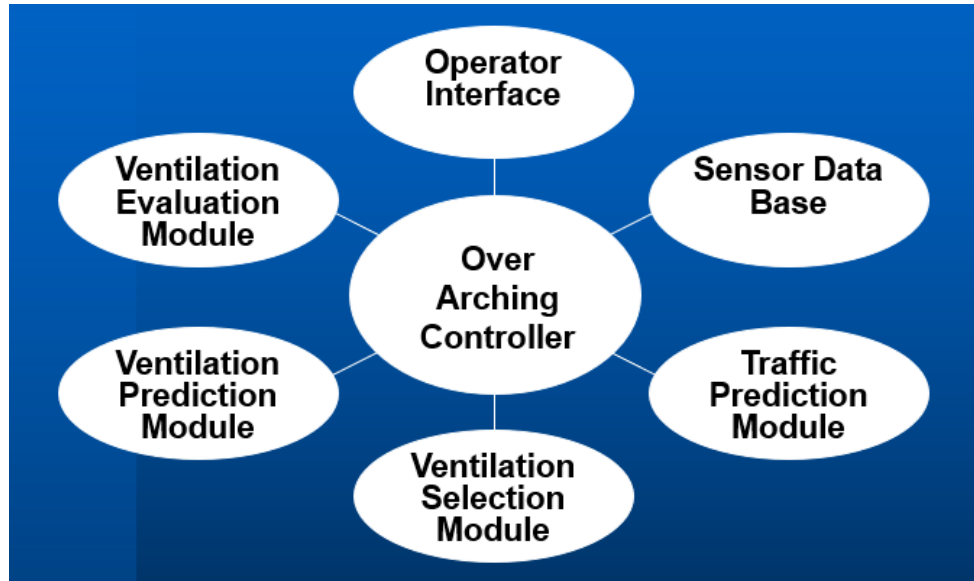


5. 道路トンネル換気制御システムの構成

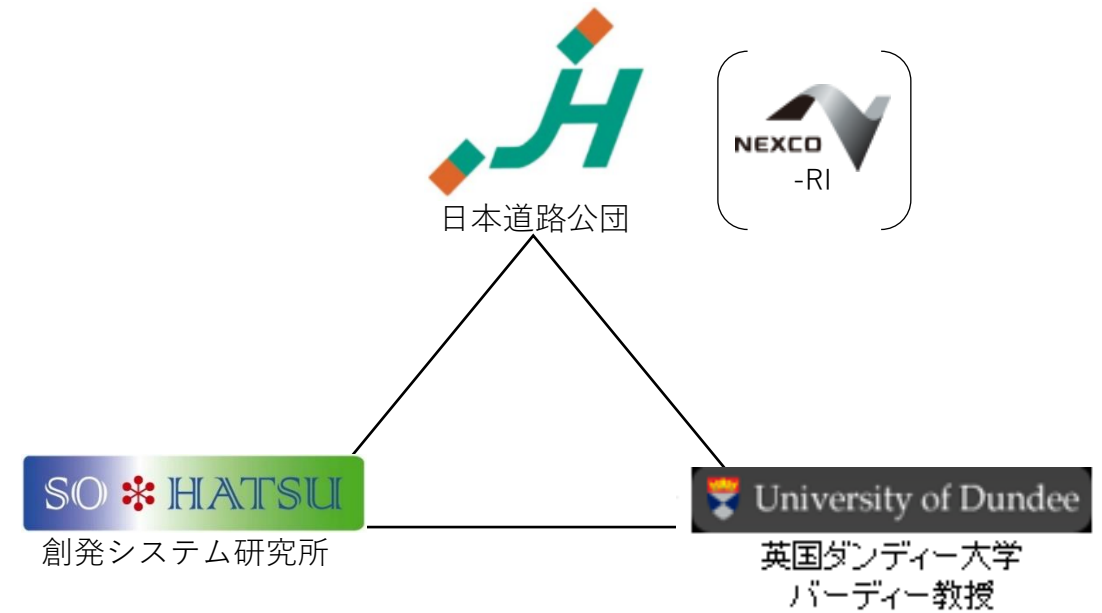
- ①センサ（交通量計,CO , VI , AV ,温度,火災,事故）
- ②換気計測制御盤（コントローラ）
- ③換気動力盤（オンオフ型,回転数制御型）
- ④換気機（ジェットファン,送排風機）



6. モデルベース予測換気制御



モデルベース予測換気制御のシステム構造



開発の体制

7. モデルベース予測換気制御の実績

実績

年度	適用トンネル	備考
2005年	青梅トンネルテスト	抗口集中排気
2006年	八王子城跡トンネル	抗口集中排気
2007年	飛騨トンネル	10 k m
2008年	関越トンネル	日本最長 11 k m
2018年	天狗山トンネル	2.9km
2018年	樽峠トンネル	4.9km
2018年	東山トンネル	3.2km 名古屋高速

8. インバータ換気制御

経済産業省「異分野連携新事業分野開拓計画」補助金支援

台数運転より回転数運転のほうが省エネになる

省エネの原理を発見

議論を整理

論文へ

BHRで発表

最優秀論文賞に

国内評価



経済産業省の支援



国際学会



国内評価



特許

9. インバータ換気制御の実績

実績

トンネル名	エンドユーザ	システムメーカー	JF	年度
神戸長田トンネル	阪神高速	川崎重工	50kW × 5	2010
八鹿トンネル	近畿地方整備局	川崎重工	50kW × 6	2010
淀川左岸線	阪神高速	川崎重工	30kW × 34	2011 2012
鳥居トンネル	中部地方整備局	電業社	50kW × 4	2014
津奈木トンネル	九州地方整備局	パナソニック環境エンジニアリング	30kW × 4	2014
摩当山トンネル	東北地方整備局	日立製作所	50kW × 7 33kW × 1	2015
東山トンネル	名古屋高速道路公社	荏原製作所	50kW × 18	2018

10. 道路トンネル換気制御システム

快適

平常時制御

利用者に快適な
環境を提供する

安全・安心

火災時制御

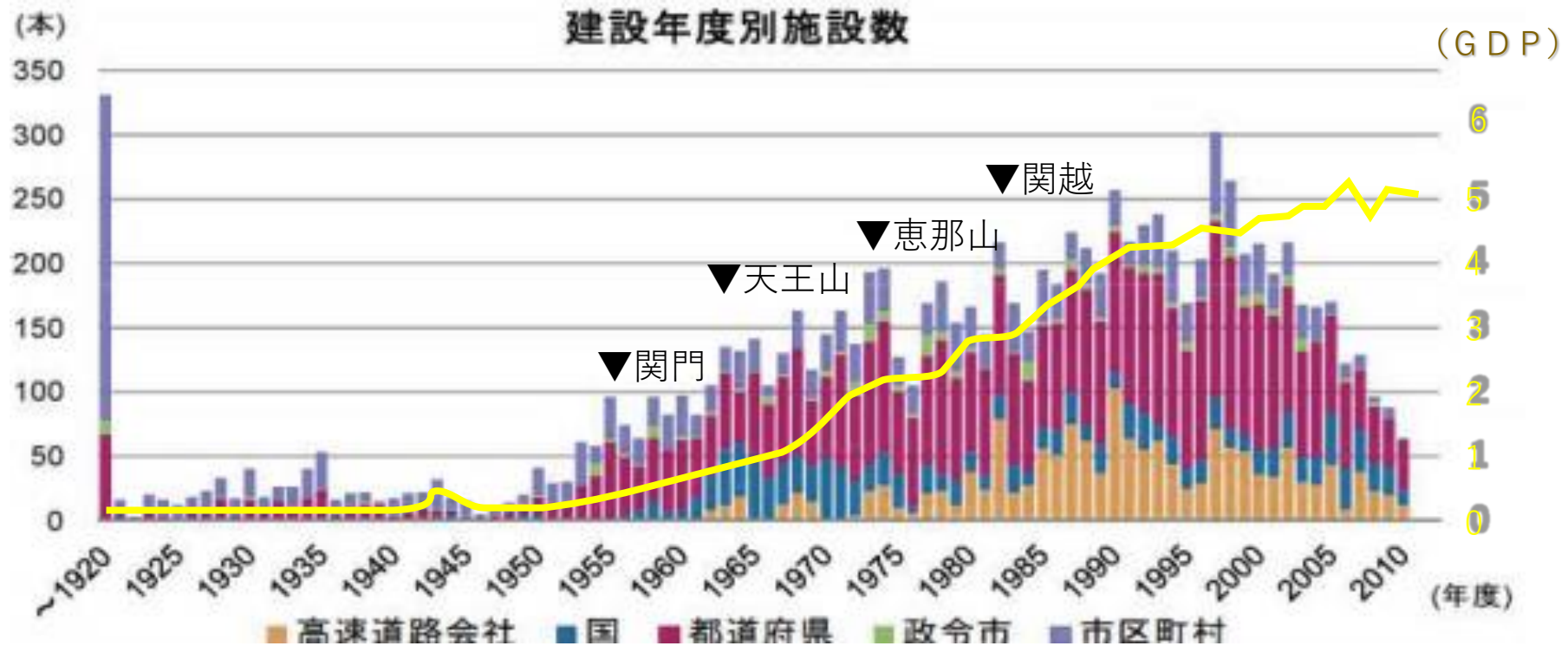
トンネル内事故
(特に火災)時に
利用者の安全を守る

省エネ/制御性能

インバータ

トンネル運用電力の大きな部分を占める
換気電力コスト削減

11. 道路トンネルの国内市場



(厚生労働省 トンネル建設工事の統計資料より)

12. グローバル化 → 海外マーケットへ



13. ASEAN展開



- 国土面積は日本の12倍
- 山間部が多く、越境輸送が盛ん
- 経済特区と港を結ぶ主要道路網が数多く存在
- 国際貿易港はベトナムが起点
- 道路未整備区間が多く、インフラ整備の技術面、人材面において、ベトナムがイニシアチブ

14. ODAの現状(道路トンネル)



JICA 独立行政法人 国際協力機構

English Français Español

国際協力に参加したい方 NGOの方 研究者の方 メディアの方 企業の方(民間連携) 投資家の方 サイト活用ガイド

ホーム JICAについて 事業・プロジェクト 各国における取り組み ニュース 国際協力・ODAについて

ホーム > ニュース > ニュースリリース > 2016年度 > ネパール向け円借款契約の調印：ネパール初の道路トンネル建設により物流網の円滑化に貢献

2016年12月22日

ネパール向け円借款契約の調印：ネパール初の道路トンネル建設により物流網の円滑化に貢献

国際協力機構（JICA）は12月22日、ネパールの首都カトマンズにてネパール連邦民主共和国政府との間で「ナグドゥンガ・トンネル建設事業」を対象として、166億3,600万円を限度とする円借款貸付契約に調印しました。

本事業は、カトマンズと主要都市およびインド国境までを結ぶ幹線道路にあるナグドゥンガ峠にトンネルを建設し、運輸交通網の円滑化を図ることを目的としています。本件にかかる貸付資金は、トンネル、アクセス道路、橋梁等の建設・整備にかかる土木工事及びコンサルティング・サービス（詳細設計、入

署名式の様子

参考資料 (JICA) ネパール ナグドゥンガトンネル建設事業

15. 道路トンネル市場(ASEAN)の背景

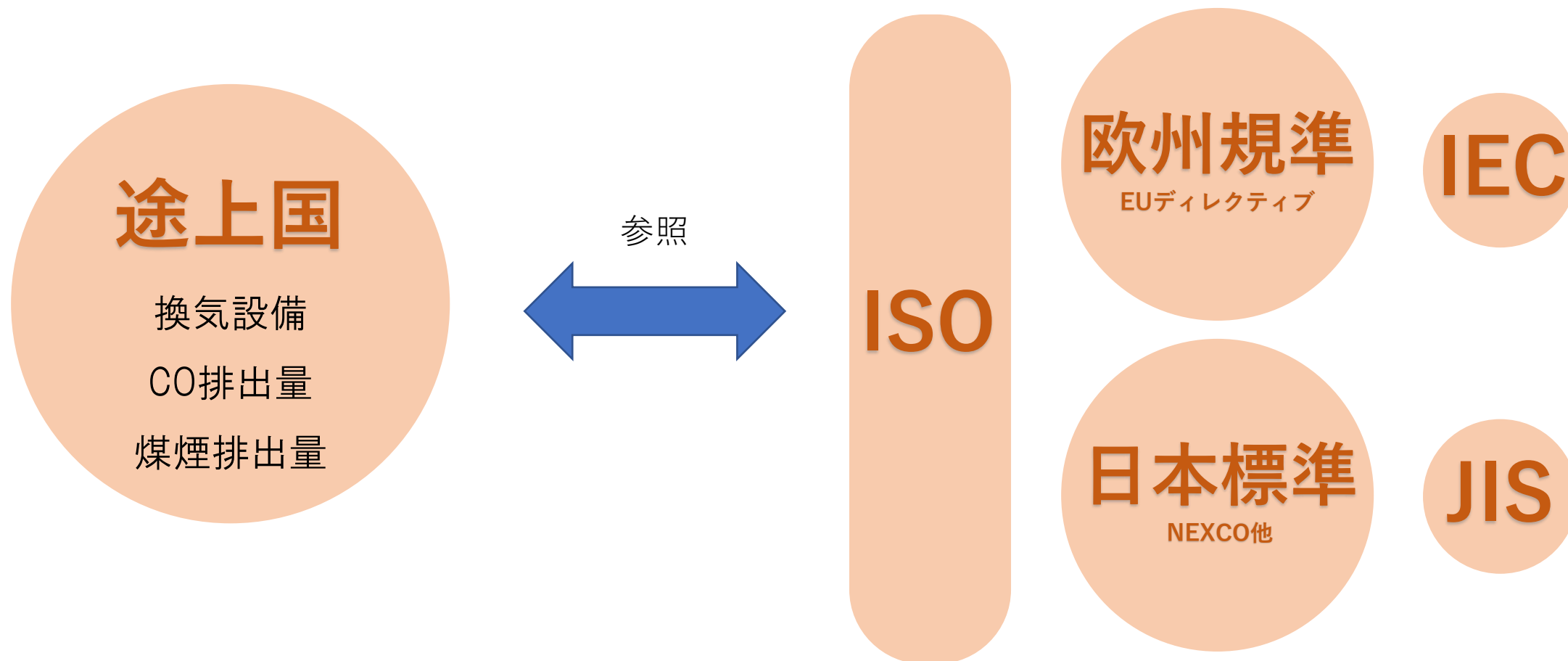
日本国内市場

- 新設道路成熟
→道路トンネル維持管理の時代へ
- 車両の排ガス減少
→トンネル換気の必要性減
- 換気から排煙へ
→火災時の安全性へシフト

東南アジア市場

- 道路インフラ未整備
→道路トンネル新設の時代へ
- 車両の排ガス多い
→平常時換気の必要性あり
- バイクの交通量が多い
→人への直接の影響大
- 渋滞が常態化
→火災時の危険性、火災時換気の必要性大

16. 先進国規準



17. 質の高いインフラ輸出

G20原則

1. 持続可能な成長

2. ライフサイクルコスト

3. 環境への配慮

4. 自然災害のリスクに対する強靱性

5. 社会への配慮

6. インフラガバナンスの強化

外務省資料 「重要政策 質の高いインフラ」 より

質の高いインフラ投資に関するG20原則（概要）

- 世界経済の発展に際し、インフラ投資に対する膨大な需要が見込まれる中で、「質の高い成長」を実現するためには、「量」だけでなく「質」の伴ったインフラ投資が世界及び日本の経済成長に不可欠。
- 2019年6月8、9日のG20財務大臣・中央銀行総裁会議において、「質の高いインフラ投資に関するG20原則」が承認され、6月28、29日のG20大阪サミットにおいて、**首脳レベルでも同原則が承認された。**
- 同原則の中で、とりわけ、①インフラの開放性、②透明性、**③ライフサイクルコストから見た経済性、④債務持続可能性**などが重視されている。

【質の高いインフラ投資に関するG20原則】 主な内容

原則1：持続可能な成長と開発へのインパクトの最大化

- ・雇用創出や技術移転を伴うインフラ投資により、能力構築、生産性向上、民間投資促進などを通じて、**経済の好循環を促進。**
- ・**国別戦略との整合性**をとりつつ、SDGs等に沿ったインフラ投資により持続可能な開発を促進し、**連結性を強化。**

原則2：ライフサイクルコストから見た経済性

- ・**価格に見合った価値 (Value for Money)** を実現すべき。インフラの建設のみならず、その**運営や維持・管理 (O&M)** 等も含めたトータルコストを考慮することが重要。**事業遅延やコスト・オーバーランのリスクにも配慮すべき。革新的な技術も有用。**

原則3：環境への配慮

- ・生態系、生物多様性、気候等への影響を考慮。環境関連の情報開示の改善を通じたグリーン・ファイナンス商品の活用も重要。

原則4：自然災害等のリスクに対する強靱性

- ・自然災害リスクや人為的リスクの管理は、設計段階から考慮に入れる必要。災害リスク保険は、強じんなインフラを促すもの。

原則5：社会への配慮（利用の開放性を含む）

- ・全ての人々の経済的参加と社会的包摂を促す必要。**利用の開放性、安全性、ジェンダー、社会的弱者への配慮が重要。**

原則6：インフラ・ガバナンスの強化（調達への開放性・透明性、債務持続可能性等）

- ・**調達への開放性・透明性、腐敗防止**に向けた努力、情報・データへのアクセスが重要。
- ・プロジェクトごとの財務の持続可能性のみならず、**マクロ（国）レベルの債務の持続可能性が重要。**

18. ベトナム市場

ベトナム市場では

- 他の諸国に先駆け2000年代よりトンネル建設始まる

ハイヴァントンネル

延長6,280m

対面通行

縦流トンネル

2005年開通

The screenshot shows a web page titled "ODA見える化サイト" (ODA Transparency Site) with a search bar and navigation links. The main content area features a yellow header with the title "ハイヴァントンネル建設事業 (1)" and "HAI VAN TUNNEL CONSTRUCTION PROJECT (1)". Below the header is a photograph of a large tunnel entrance with a red truck driving through it. To the right of the photo is a metadata table:

国名	ベトナム
事業	有償資金協力
課題	運輸交通
借款契約 (L/A) 調印	1997年3月
借款契約額	55.00億円

JICAホームページより

19. ハイバントンネルの事例



ハイバントンネル電力コスト問題
(tuoi tre news : 2018/10/29)



2016年現地視察



20. トゥーティエムトンネルの事例



サイゴン川トンネル健康被害問題
(THE VOICE OF VIETNAM : 2018/5/20)

3. Environmental pollution in Vietnam road tunnels due to transport activities

- In Vietnam, the assessment of pollution in the tunnels has not been paying much attention, there are very few research topics and data on this issue. Adequate attention has not be paid to environment monitoring activities of air quality, noise and vibrations.
- Although most of the tunnels are designed with modern ventillation system, but due to particular structure, pollutants in the tunnel are undiluted and hard to get out of the tunnel, resulting in air pollution.
- Pollution in the tunnel depends on traffic volume, vehicle speed and the tunnel length.
- Major cities such as Hanoi and Ho Chi Minh city where there are a lot of urban tunnels, highway tunnels and pedestrian tunnels don't have particular environment monitoring stations.



道路トンネル運用の環境課題 ベトナム運輸省
(PIARC世界道路会議資料)

21. 既設トンネルの課題が顕在化



トンネル換気の規準がない

日本の10年前の規準を想定し適用

しかし、日本とベトナムでは根本的な背景が異なるため、

ベトナムの現状データに即していない

トンネル換気の換気コスト↑、坑内環境↓

換気基準とは

- ①車両の排ガスはどれくらいか
(1台あたりのCO,煤煙排出量)
- ②温度
(車両の発熱量はいくらか)
- ③車両の通行でどれくらい
空気が押し出されるか
(1台あたりのピストンカ)
- ④大型車・小型車・(バイク)の混入率

22. アジア諸国への展開

ネパール
ナグドゥンガトンネル

延長2,450m

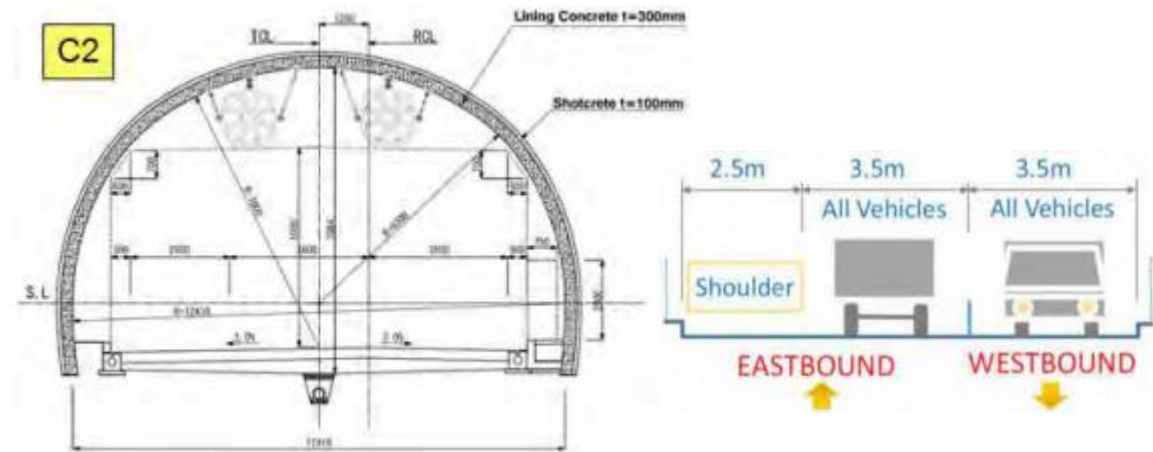
対面通行

縦流トンネル

2025年開通予定

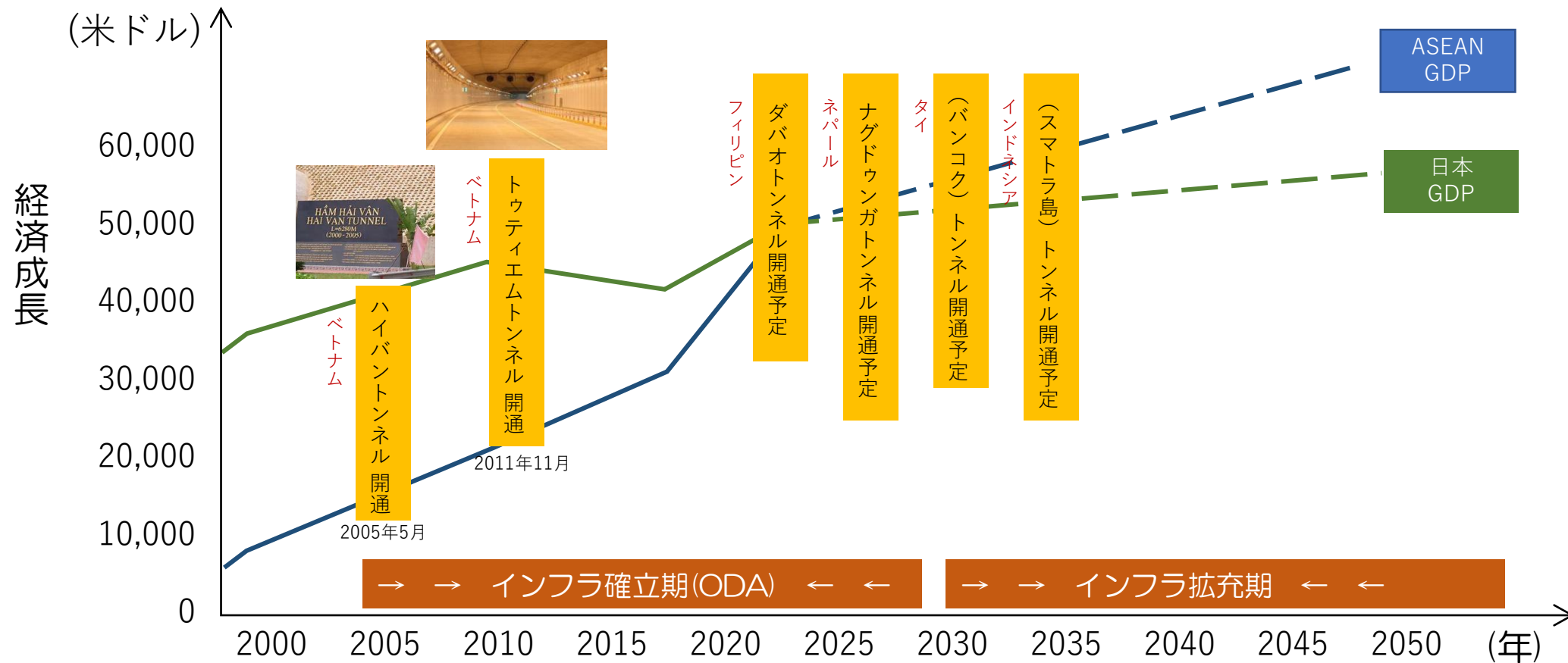


トンネル建設予定地
(ナグドゥンガ峠)



参考資料 (JICA) ネパール ナグドゥンガトンネル建設事業報告資料より

23. インフラ確立期からインフラ拡充期へ



24. 質の高いインフラ輸出イニシアチブ（国交省）

質の高いインフラとは

一見値段が高く見えるものの

使いやすく、長持ち

環境に優しく

災害の備えにもなる

長期的に見れば安上がり

国交省資料 「質の高いインフラ輸出イニシアチブ」より



国土交通省

Home > 国土交通省について > **報道・広報** > 政策・法令・予算 > 白書・オープンデータ > お問い合わせ・申請

報道・広報

Home > 報道・広報 > 報道発表資料 > 「質の高いインフラ輸出拡大イニシアチブ」を公表しました

「質の高いインフラ輸出拡大イニシアチブ」を公表しました

平成28年5月23日

本日(5月23日)、第24回経協インフラ戦略会議において、「質の高いインフラ(*)輸出拡大イニシアチブ」を安倍総理大臣より発表しました。政府は、本イニシアチブを通じて、我が国の質の高いインフラ輸出を促進し、我が国の経済成長のみならず相手国の経済発展に貢献するWIN-WIN関係の構築を図ります。

具体的には、

1. 資源エネルギー等も含む世界全体のインフラ案件向けに、今後5年間の目標として、約2000億ドルの資金等を供給します。
2. 円借款手続きの更なる迅速化や、民間企業の投融資を奨励するための関連する各種制度・運用の改善を図ります。
3. JICA、JBIC、NEXI、JOGMECその他の関係機関の体制強化と財務基盤確保を図ります。

イニシアチブの詳細につきましては、別紙をご覧ください。

(*)質の高いインフラ
一見、**値段が高く見えるものの**、**使いやすく、長持ち**、そして**環境に優しく**、**災害の備えにもなる**ため、**長期的に見れば安上がりなインフラ**。「質の高いインフラパートナーシップ」(平成27年5月総理発表)において我が国が提唱。

25. EUディレクティブ

Risk解析

集中排煙システム

対面通行縦流トンネル
500m以上
Risk軽減策必要



「EUディレクティブ」 2004/54/EC

26. 日本の技術 縦流トンネル

	縦流換気方式	対面	一方
国道・地方道	565本	約90%	約10%
高速道路	145本	約40%	約60%

2015年参考値

27. 日本の技術 縦流トンネル

縦流トンネル



水噴霧

火災時風速零化制御

高度換気制御

レギュレータ制御

FF・FB制御

MPVC制御

インバータ換気制御

28. EU技術の理解

日本での国際セミナー開催
2016年 2018年（神戸）



Risk解析
手法
TuRisMo
紹介

AUSTRIAN RISK ANALYSIS FOR ROAD TUNNELS
Development of a new Method for the Risk Assessment of Road Tunnels

Kohl B.¹, Botschek K.¹, Hörhan R.²
¹ ILF, ² BMVIT

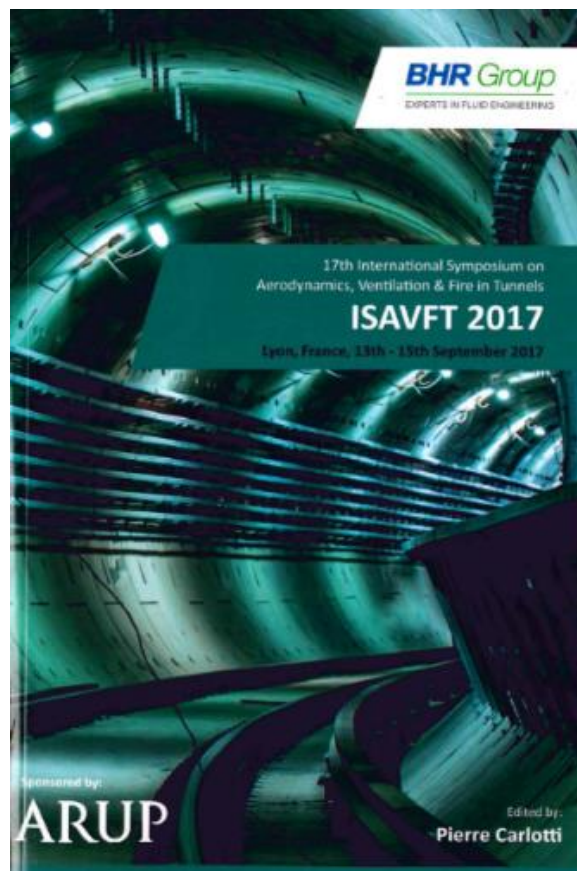
ABSTRACT

In Austria, in the past the assessment of road tunnel safety was based on experience and prescriptive RVS 9.261 guidelines. In the course of updating the Austrian design code for road tunnel ventilation, it was decided to develop a methodology for an integrated quantitative risk analysis. Initially, the main objective was to establish a risk-based decision tool for the specification of important safety requirements of road tunnels (e.g. ventilation system). For the Austrian Risk Analysis for Road Tunnels TuRisMo a set of different methodical tools are used to analyse the whole system of safety relevant influencing factors. The tool consists of two main elements:



29. 日本技術の発信

海外での学会参加
2017年



対面縦流
トンネルの
Risk軽減

風速零化の
効果

論文発表

Risk assessment of fire emergency ventilation strategies during traffic congestion in unidirectional tunnels with longitudinal ventilation

*B Kohl, O Senekowitsch
ILF Consulting Engineers, Austria
I Nakahori, T Sakaguchi
Sohatsu Systems Laboratory, Japan
A E Vardy
University of Dundee, UK*

ABSTRACT

Four possible strategies for ventilation response to fire in a unidirectional tunnel are compared quantitatively for three traffic conditions (congested, stop-and-go, free-flowing) and three fire sizes (5MW, 30MW, 100MW). The overall risk of each strategy for all nine combinations of traffic and fire are assessed using the Austrian tunnel risk model TuRisMo applied to a representative tunnel that is 3km long and has realistic gradients. It is found that commonly-existing strategies such as maintaining airflow in the original traffic direction are appropriate for free-flowing traffic, but that a zero-flow strategy previously proposed for bidirectional tunnels has strong advantages in the event of congested traffic or stop-and-go traffic.

30. 開発途上国とのチャネル

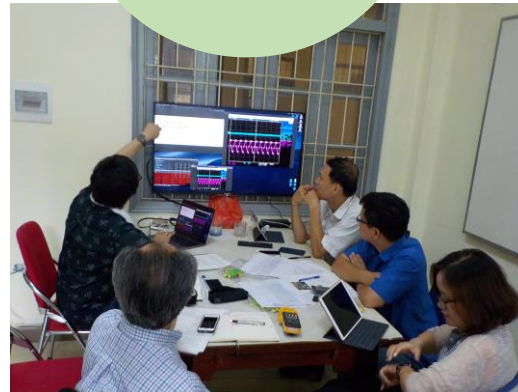
ベトナムハノイ工科大学と共同研究(MOU)締結

大学と
コラボ



ハノイ工大との共同研究

人の育成
(高度技術者)



技術の移転

レベル
アップ



現地セミナー

31. 開発途上国の現状理解(道路トンネル)

視察 調査

ジェットファン
集塵機 制御盤
トンネル内センサ



実トンネル データ 解析



- ①車両の排ガスはどれくらいか
(1台あたりのCO,煤煙排出量)
- ②温度(車両の発熱量はいくらか)
- ③車両の通行でどれくらい空気が押し出されるか
(1台あたりのピストンカ)
- ④大型車・小型車・(バイク)の混入率

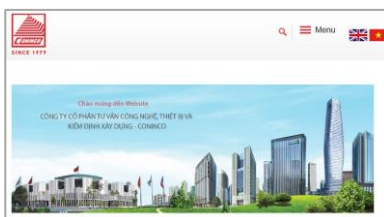
32. 開発途上国の現状理解(工業力)

視察 調査

現地コンサル
現地メーカー



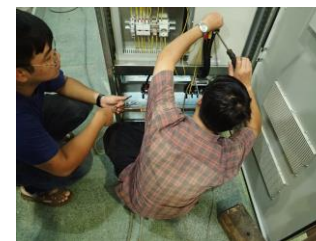
現地 製作



現地コンサル



現地ジェットファンメーカー



33. 海外インフラ事業への挑戦

JICA-STEP



ジェットファンインバータ駆動

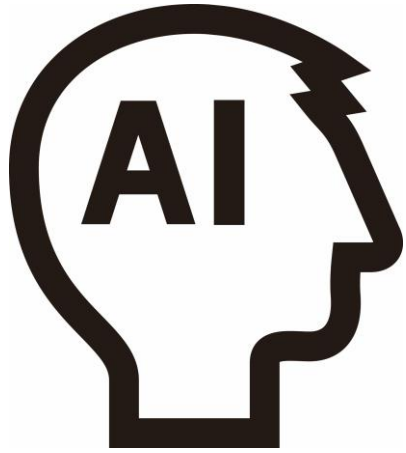
高度換気制御システム



JICAホームページより

34. 開発途上国向 新監視制御システム

AI（人工知能の活用）



制御装置
+
パラメータ
推定

監視装置
+
運転訓練
シミュレータ

モデルベース

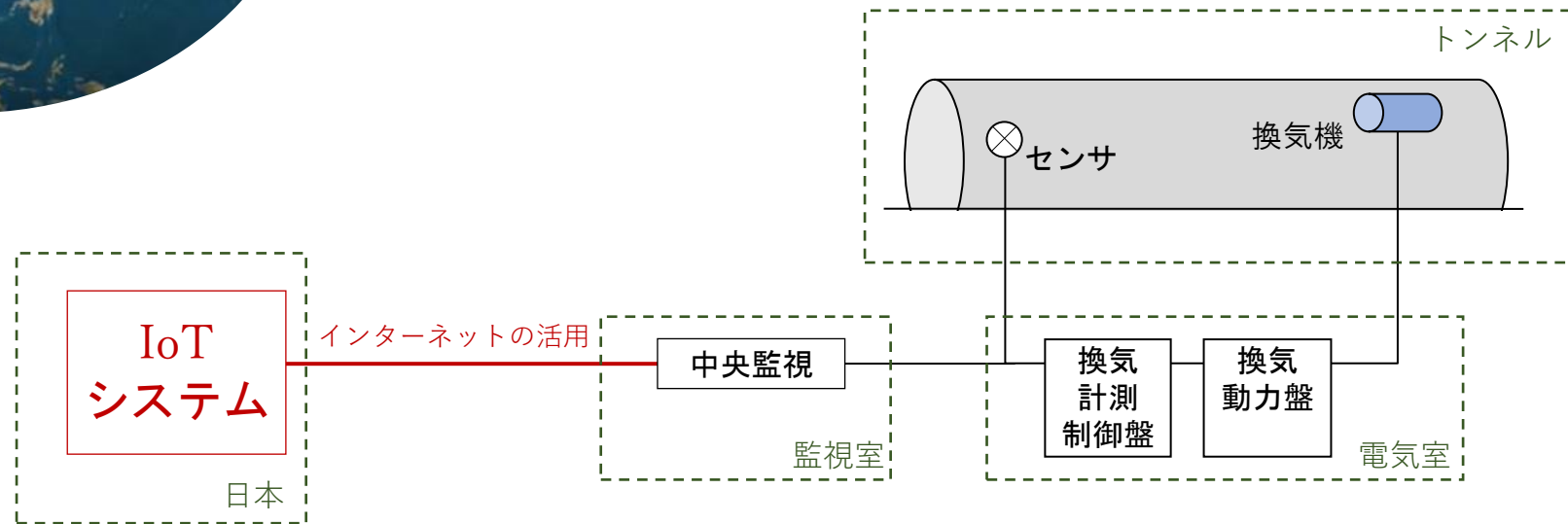
35. 開発途上国向 遠隔メンテシステム



IoTシステム（インターネットの活用）

- ・システムメンテナンス
- ・バックアップ体制

課題：セキュリティー





美はしき 持続可能な社会を創発しよう！

Let's emerge lovely sustainable society!

ご清聴ありがとうございました！

Thank you for listening!