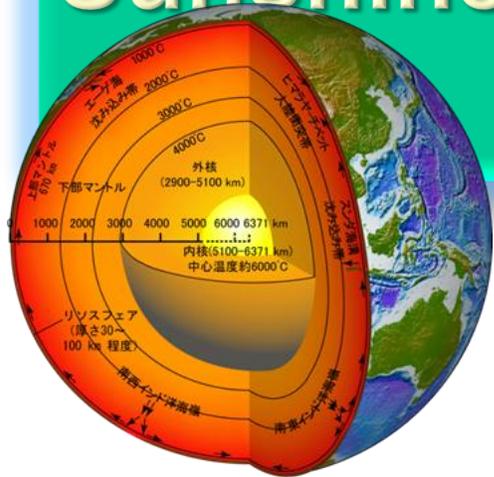


Sunshine Project 50 Years
Anniversary Symposium

June 20, 2024, 14:40-15:00
Bellesalle Roppongi B1F

サンシャイン計画が日本の地熱の扉を開いた Sunshine Project opened the door for geothermal in Japan

HIROSAKI UNIVERSITY



村岡 洋文

(元産総研32年勤務, 途中2回NEDO出向, 元弘前大学
北日本新エネルギー研究所長・教授)



Hirofumi Muraoka, Ph.D.

(Engaged in AIST for 32 years, 2 times seconded to NEDO, Engaged as Director and Prof. of
the North Japan Research Institute for Sustainable Energy, Hirosaki University)

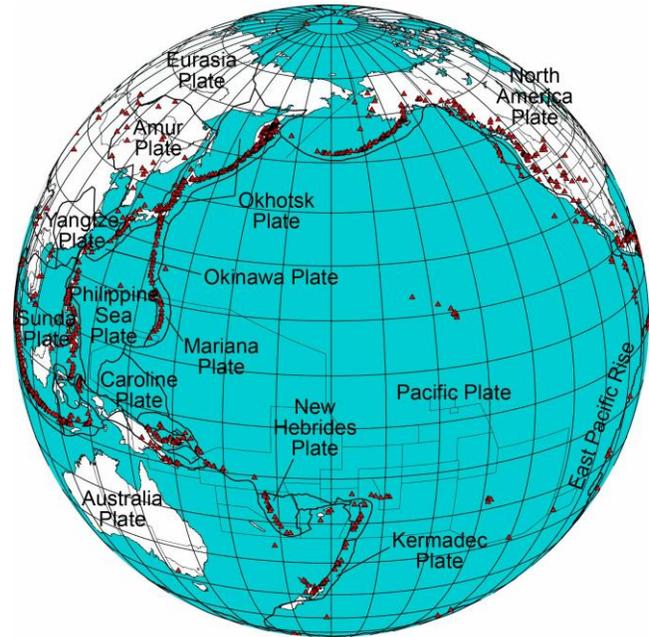
話の骨子

- 日本は世界の三大地熱資源大国
- 地熱発電開発の世界ランキング
- 世界の地熱発電開発動向
- 日本の地熱発電開発史
- 地熱開発低迷期の失われた15年
- 温泉発電市場は徐々に開花している
- サンシャイン計画の世界的成果：深部調査井が熱源マグマを貫通
- ニューサンシャイン計画の世界的成果：インドネシア遠隔離島地熱探査プロジェクトの成功
- ニューサンシャイン計画終了後もNEDOがIEA地熱実施協定に参加
- **結語**：日本こそ世界最大の地熱利用国を目指せ

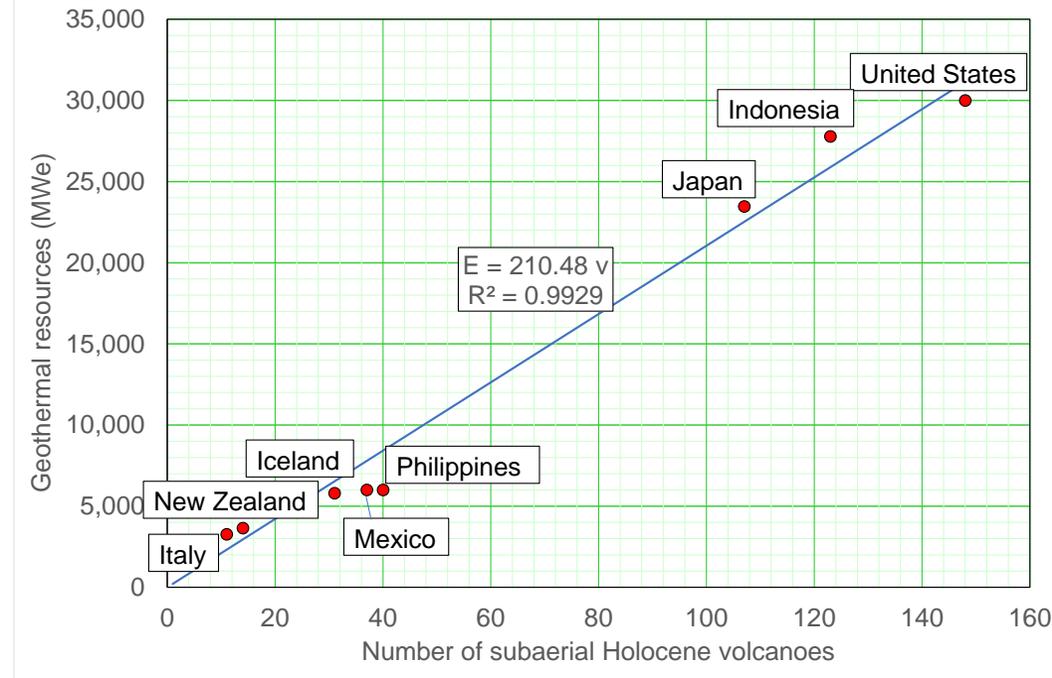
Contents of my talk

- Japan as top three geothermal resource countries
- World ranking of geothermal power development
- Trends of geothermal power development in the world
- History of geothermal power development in Japan
- Lost 15 years in the geothermal stagnant period
- Hot spring power market is gradually glowing
- Global outcome of the Sunshine Project: a deep well penetrated magmatic heat source
- Global outcome of the New Sunshine Project: The success of Indonesia remote island exploration project
- NEDO kept the IEA-GIA activity after the New Sunshine Project ceased
- **Conclusions**: Japan should aim for the top geothermal utilization country!

日本は世界の三大地熱資源大国 Japan as top three geothermal resource countries



Country	Number of subaerial Holocene volcano	High temperature hydrothermal resource (MWe)
USA	148	30,000
Indonesia	123	27,790
Japan	107	23,470
Philippines	40	6,000
Mexico	37	6,000
Iceland	31	5,800
New Zealand	14	3,650
Italy	11	3,270



世界の完新世陸上火山数(▲)は1,239個であり、ほぼその3割が米国、インドネシア、日本に集中している。この三カ国は世界の三大地熱資源大国と推定される。

There are 1,239 subaerial Holocene volcanoes (▲) in the world, 30 % of which are distributed in USA, Indonesia and Japan. These three countries are probably top three geothermal potential countries.

世界の完新世陸上火山数と高温地熱資源量の間にはよい相関関係が見られ、この関係においても、米国、インドネシア、日本は三大地熱資源大国と推定される。

There is a positive correlation between the number of subaerial Holocene volcanoes and estimated high-temperature geothermal resource potentials in the world. Japan is probably no.3 potential country in the world (Muraoka, 2020)

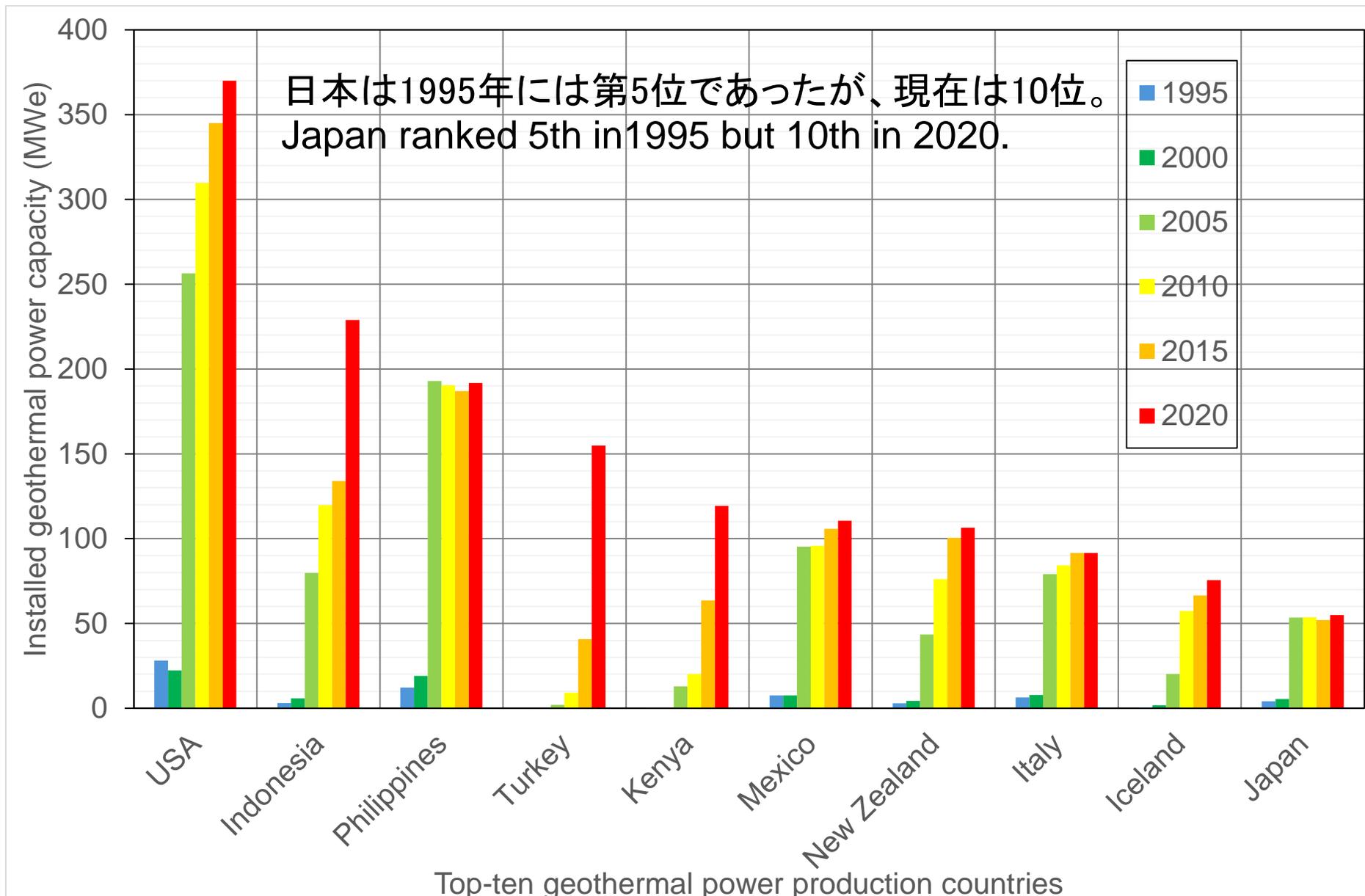
地熱発電開発の世界ランキング

World ranking of geothermal power development

Rank	Country	Installed Capacity in 2020 (MWe)	Rank	Country	Installed Capacity in 2020 (MWe)
1	USA	3,700	6	Mexico	1,105
2	Indonesia	2,289	7	New Zealand	1,064
3	Philippines	1,918	8	Italy	916
4	Turkey	1,549	9	Iceland	755
5	Kenya	1,193	10	Japan	550

The data are as of 2020 (Huttrer, 2021)

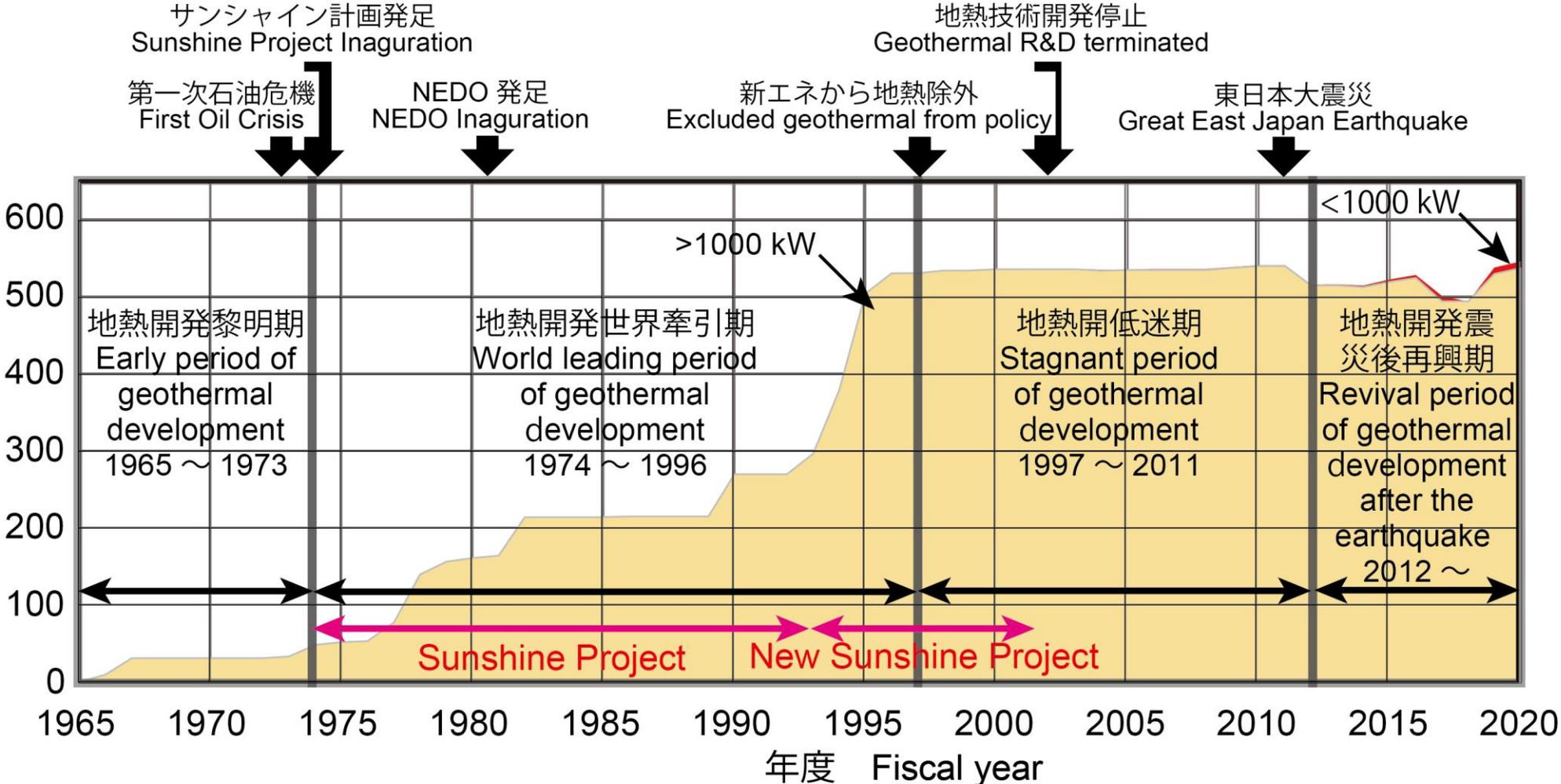
世界の地熱発電
開発動向
Trends of
geothermal
power
development in
the world



Based on Hutterer (2001), Bertani (2005), Bertani (2016) and Hutterer (2021)

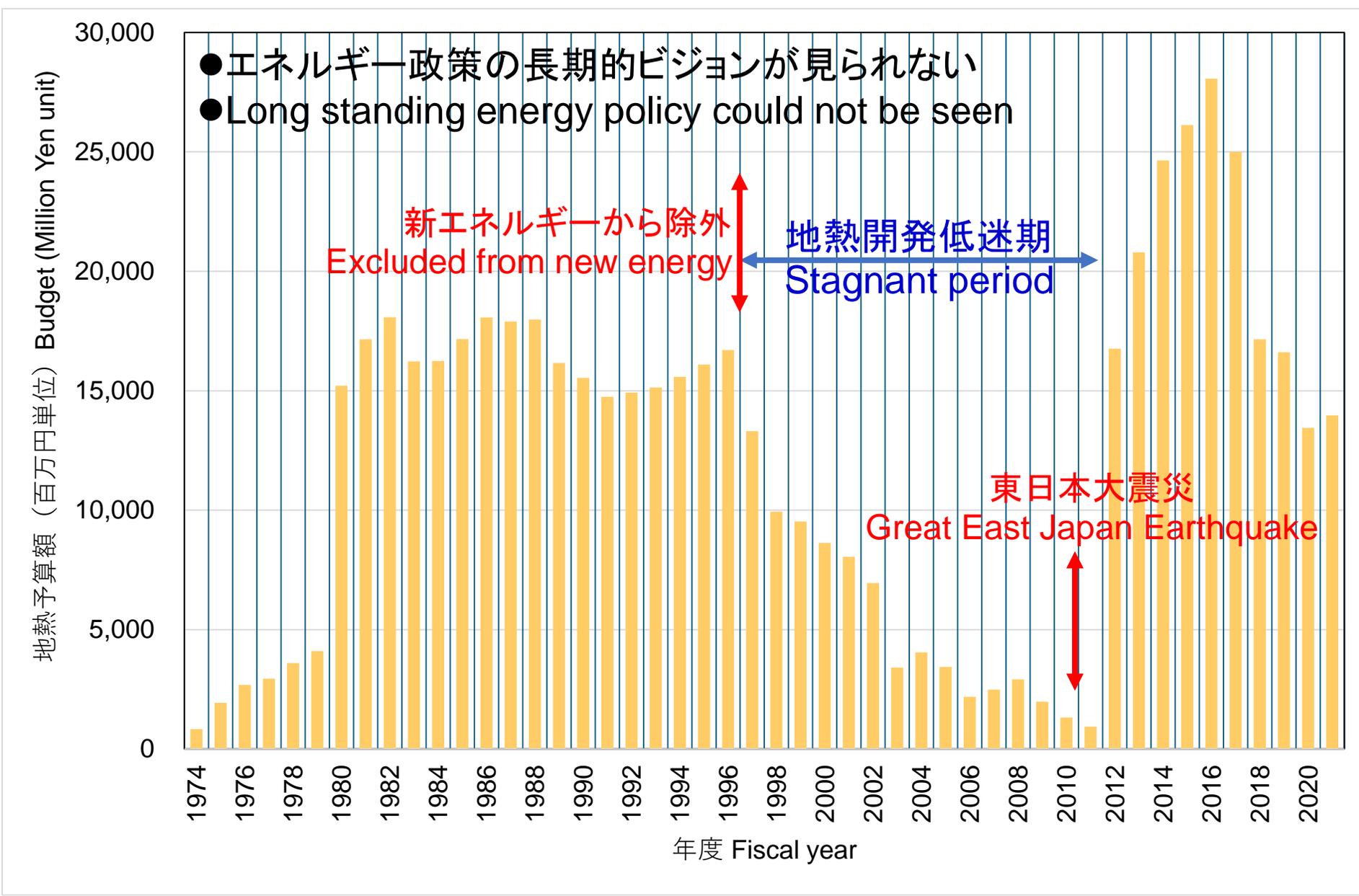
日本の地熱発電開発史 History of geothermal power development in Japan

地熱発電設備容量 Installed capacity (MWe)



社団法人火力原子力発電技術協会(2023)「地熱発電の現状と動向2022年」をもとに作成
The data of this diagram was quoted from Kagenkyo (2023)

地熱開発低迷期の失われた15年
Lost 15 years in the geothermal stagnant period



地熱予算の推移
Change of geothermal budget

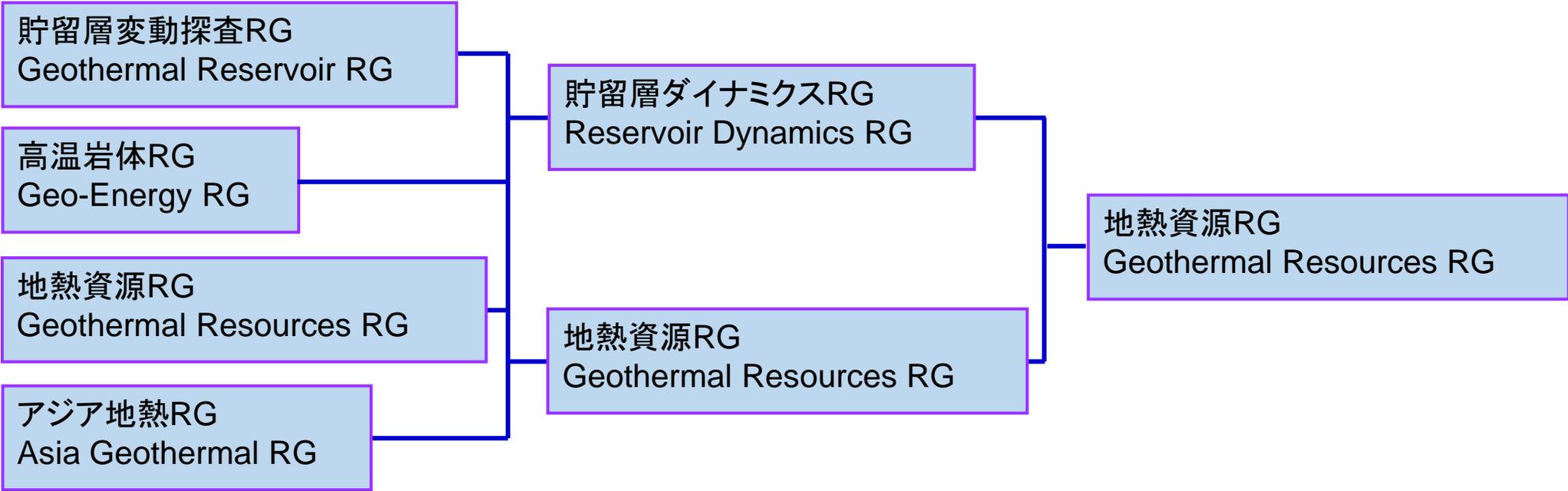
社団法人火力原子力発電技術協会(2023)「地熱発電の現状と動向2022年」をもとに作成
The data of this diagram was quoted from Kagenkyo (2023)

地熱開発低迷期の失われた15年 Lost 15 years in the geothermal stagnant period

FY2001

FY2003

FY2007



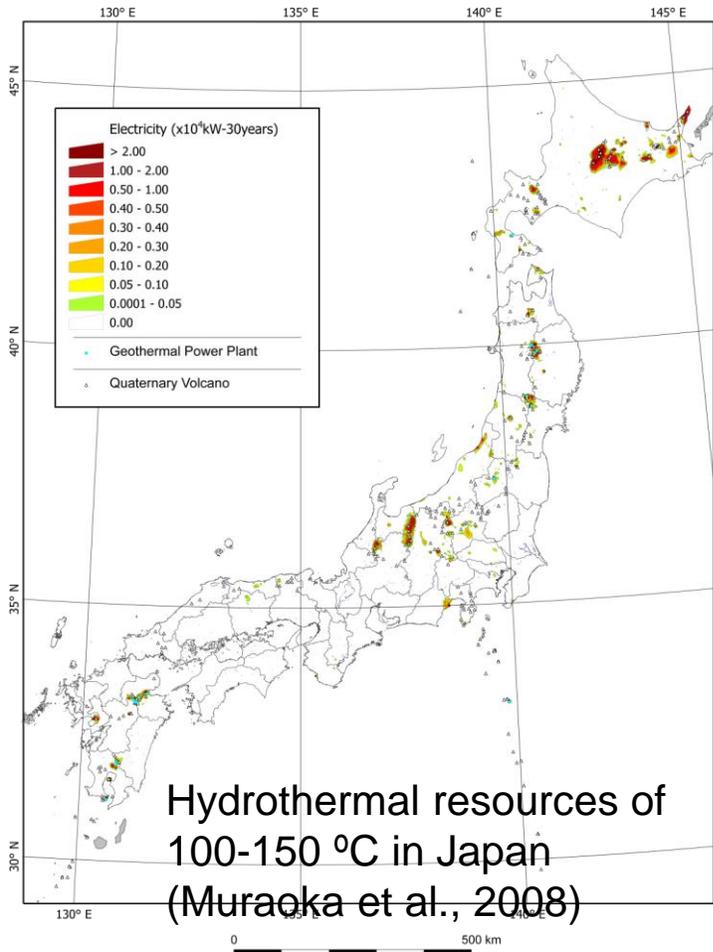
Geothermal researchers used to be more than 30 persons in FY2001

Which finally declined into 5 persons in FY2007. I was the group leader at that time

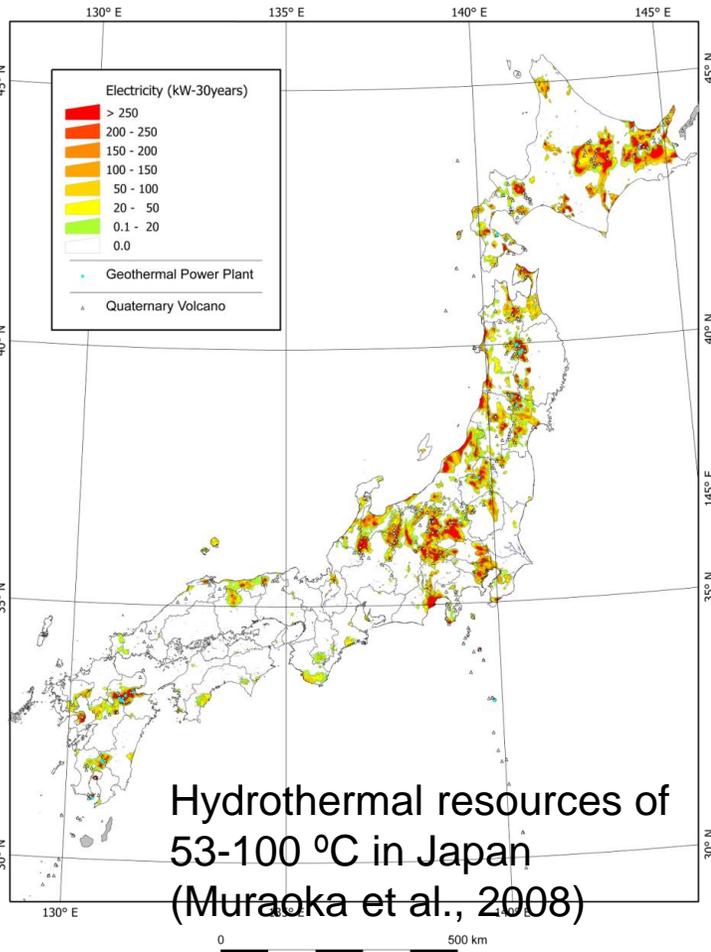
産総研、地圏資源環境研究部門における地熱研究体制の縮小史
History of decline on geothermal research groups in the Institute for Geo-resources and Environment (GREEN), AIST during 1997-2010

地熱開発低迷期の失われた15年 Lost 15 years in the geothermal stagnant period

Electricity (100°C ≤ Reservoir Temperature)
[Reservoir Bottom Depth = Gravity Basement Depth]

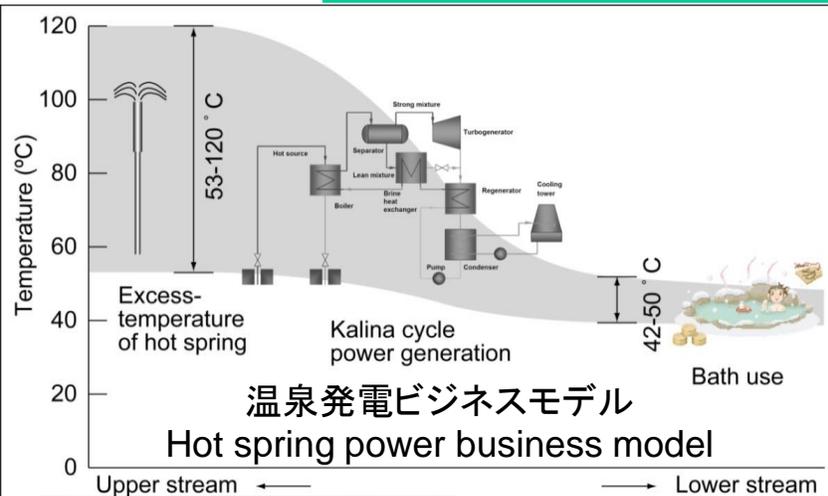


Electricity (kW-30years)
[T_{ref}=53°C, 53°C ≤ Reservoir Temperature < 120°C]

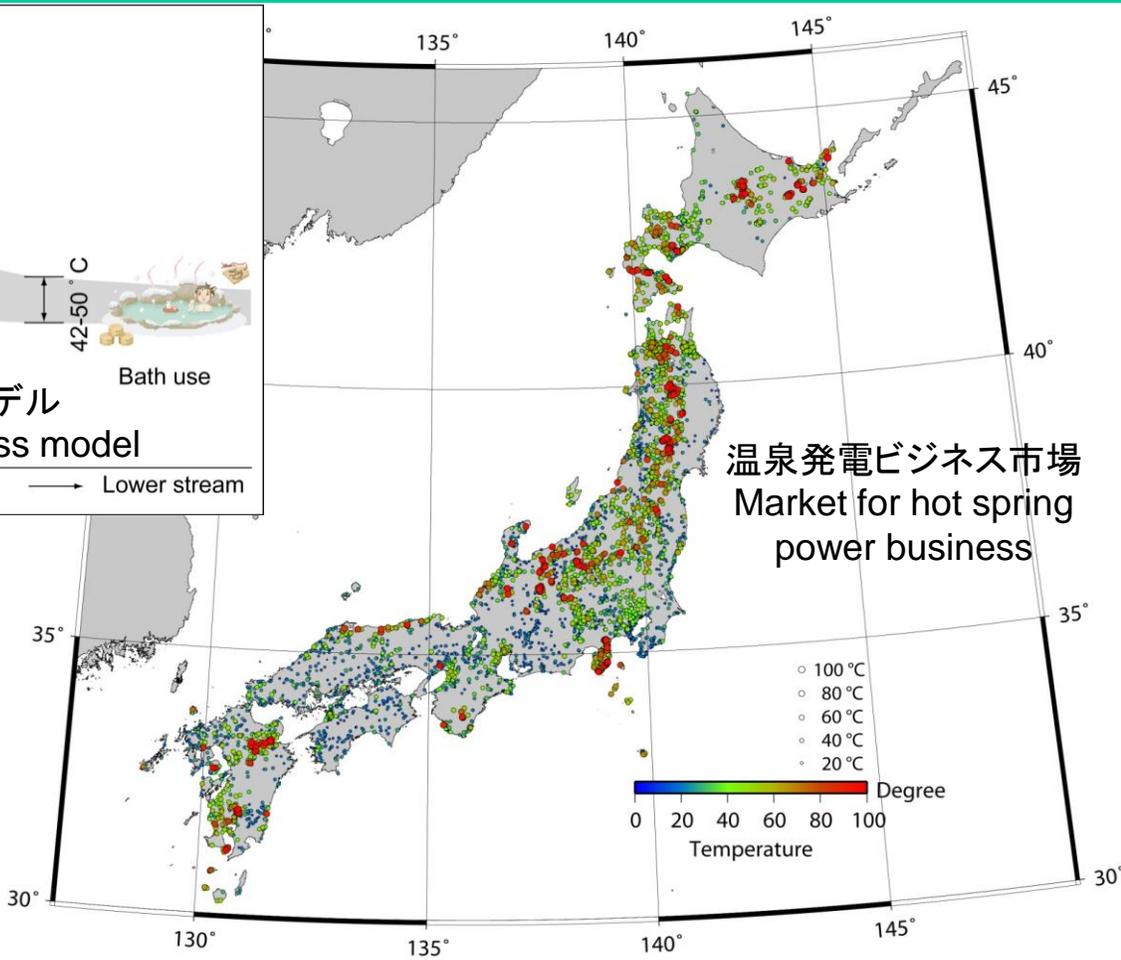


- 地熱開発低迷期に、私は産総研の地熱資源研究グループ長であった。
- そこで、あまり予算の掛からないGISベースとしては初めての全国の1kmグリッド地熱資源量評価を行った(村岡ほか, 2008)。
- 150°C以上の高温熱水系資源については 2,347万 kW-30年と見積もられ、日本がおそらく世界第3位の地熱資源大国であることを推定し、アピールした。
- I was a group leader of the Geothermal Resources Research Group, AIST, in the geothermal stagnant period.
- Then, we have done 1-km grid GIS-base geothermal resource assessment in Japan by a relatively small budget (Muraoka et al., 2008)
- 23,470 MWe - 30 years were estimated on the high-temperature resources more than 150 °C which implies the 3rd ranking in the world.

地熱開発低迷期の失われた15年 Lost 15 years in the geothermal stagnant period

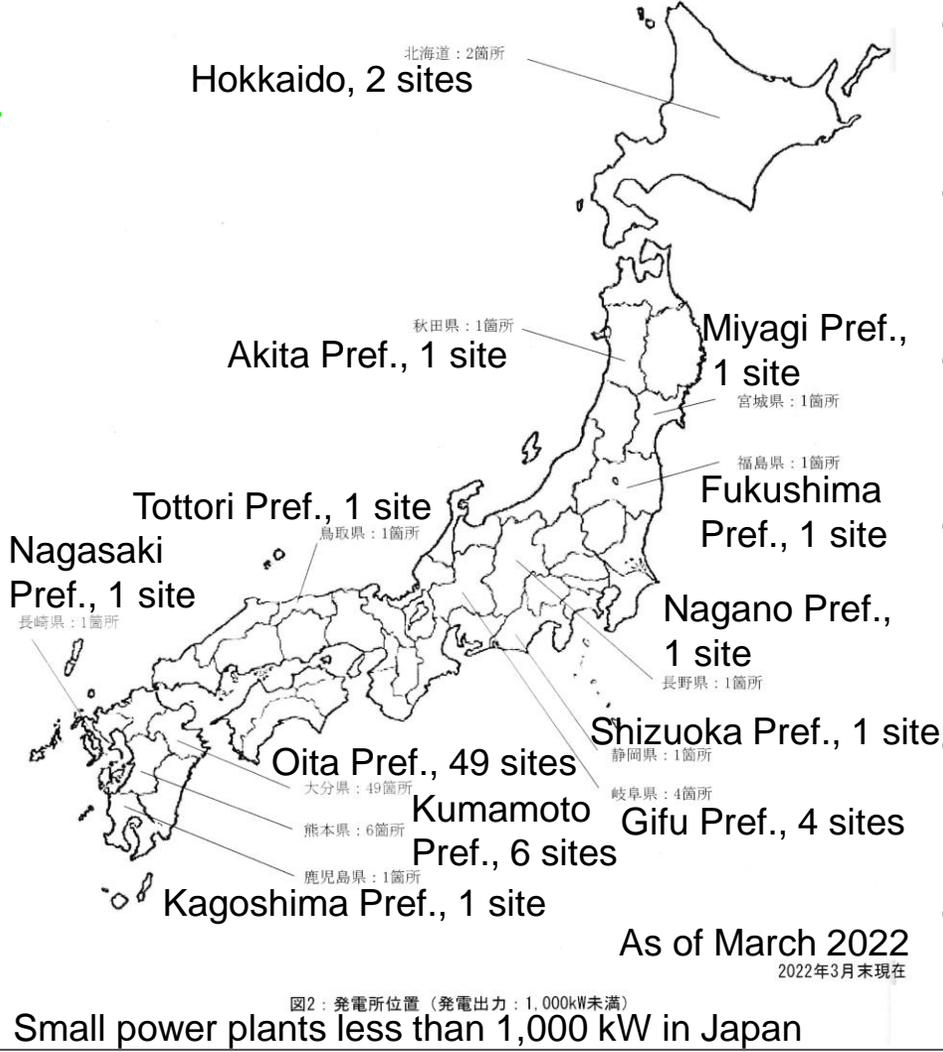


松之山50 kWカーリーナサイクルプロジェクト (地熱技術開発株、産総研、弘前大学)
Matsunoyama 50 kW Kalina cycle project (GERD, AIST, Hirosaki Univ.)



- 地熱開発低迷期に、私は産総研の地熱資源研究グループ長であった。
- 私は2007年3月の日本エネルギー学会誌に温泉発電ビジネスモデルを提案した(村岡, 2007)。
- 大型地熱発電所の開発が停滞していることから、小規模地熱開発モデルは苦肉の策であった。
- I was a group leader of the Geothermal Resources Research Group, AIST, in the geothermal stagnant period.
- I have proposed a hot spring power business model on the Journal of Institute of Energy (Muraoka, 2007).
- As the large-scale geothermal power development was stagnant, I aimed for “better than nothing”.

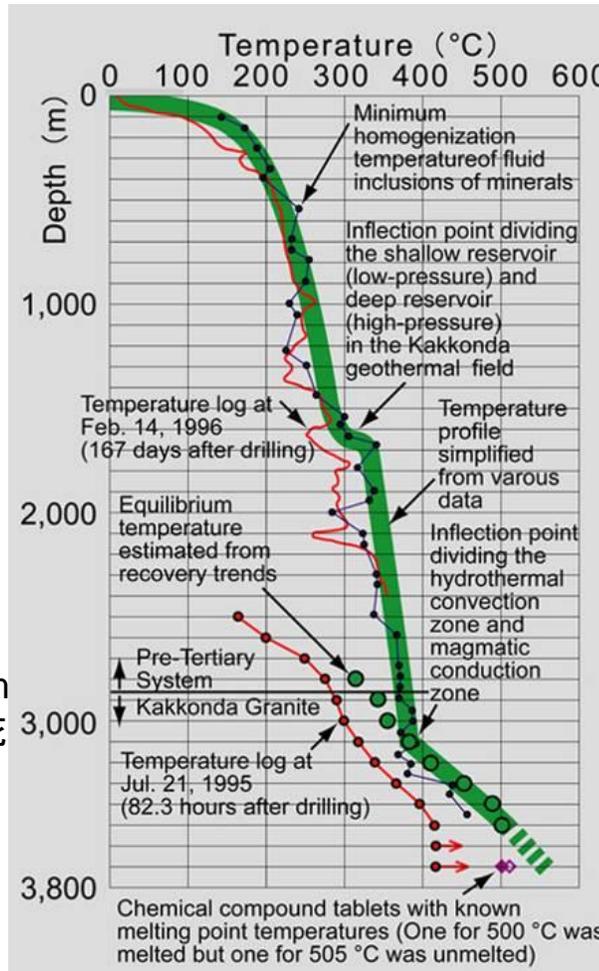
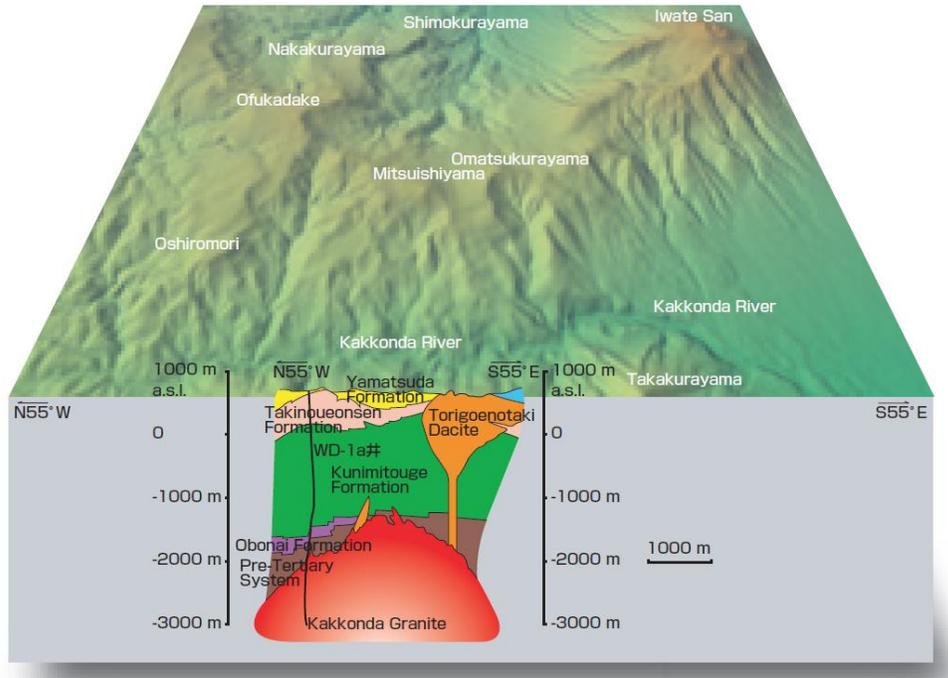
温泉発電市場は徐々に開花している Hot spring power market is gradually glowing



- 私たちは2007年頃、温泉発電ビジネスモデルを提案したものの、これは大型地熱発電所の開発が停滞している中での苦肉の策であった。
- しかしながら、2022年3月末日現在、全国で1,000kW未満の小型地熱発電設備が69カ所も稼働している(火原協, 2023)。
- 日本は約27,000個以上の温泉泉源をもつ世界最大の温泉利用国であるので、この分野の今後の発展が期待される。
- We have proposed a hot spring power business model in the year 2007, this was aimed for “better than nothing” during the stagnant period.
- However, 69 small power plants less than 1,000 kW are now operating in Japan (Kagenkyo, 2023).
- As there are hot spring sources more than 27,000 in Japan, this market will be glowing.

サンシャイン計画の世界的成果：深部調査井が熱源マグマを貫通

Global outcome of the Sunshine Project: a deep well penetrated magmatic heat source



- NEDOは1992年度から2000年度まで、葛根田地熱地域で深部地熱資源調査を実施した。
- 1995年に葛根田地熱地域に、WD-1a井という地熱調査井を深度3,729 mまで掘削し、その坑底温度が500°Cを超えた (Ikeuchi et al., 1998; Muraoka et al., 1998)。
- このような高温の理由は、この井戸が2,860 mから葛根田花崗岩という固結したばかりのマグマ溜りを貫いたからである。
- NEDO conducted the Deep Geothermal Resources Survey Project in the Kakkonda geothermal field during FY1992 to FY2000.
- The exploratory well WD-1a was drilled to the depth of 3,729 m in the Kakkonda geothermal field in 1995, which exceeded 500 °C (Ikeuchi et al., 1998; Muraoka et al., 1998).
- Such a high temperature was attained by the penetration into the Kakkonda granite below the depth of 2,860 m which was still under a cooling process from magma.

岩手県葛根田地熱地域で深度3729mまで掘削されたNEDO WD-1a井

The NEDO well WD-1a drilled into the depth 3729 m in Kakkonda



深度3728mの葛根田花崗岩コア

Kakkonda granite at the depth of 3728 m

ニューサンシャイン計画の世界的 成果：インドネシア遠隔離島地熱探 査プロジェクトの成功

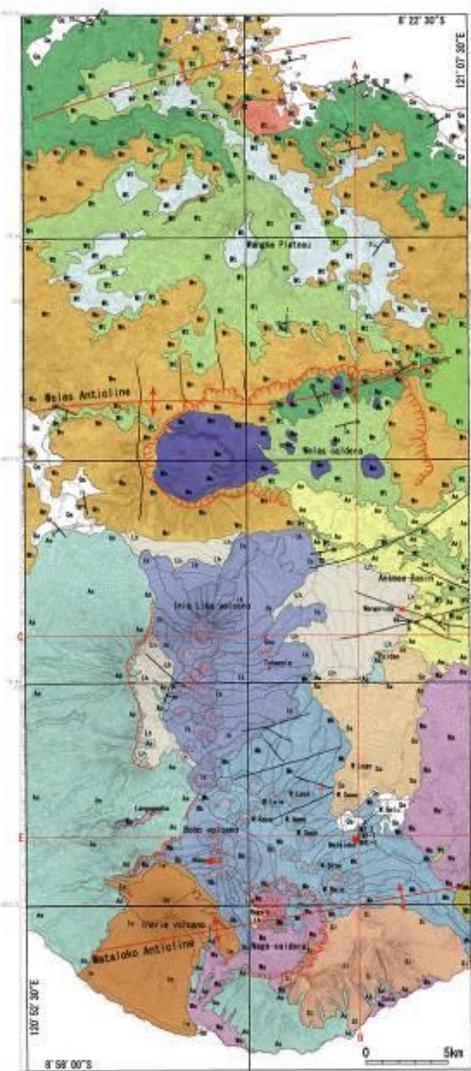
Global outcome of the New Sunshine Project: The success of Indonesia remote island exploration project

- 私たちは1997年から5年間、日本インドネシア2国間研究協力として、フローレス島において、小規模地熱探査技術開発のプロジェクトを実施した (Muraoka and Uchida, 2002)。
- 遠隔離島のため、掘削したNEDO MT-2井は深度わずか162.35 mながら、噴気試験に成功した。
- We have done a 5-year Japan-Indonesia cooperative project for the small-scale remote island geothermal exploration in Flores Island from 1997 (Muraoka and Uchida, 2002).
- The NEDO MT-2 well was only 162.35 m deep because of the remote island, but the flow test was successful (Sueyoshi et al., 2002).



JERS-1 SAR画像

JERS-1 SAR imagery in Flores Island (Muraoka et al., 2002).



Geological map in central Flores Island (Muraoka et al., 2002).

Geothermal notation

- Hot spring >=90°C
- Hot spring >=80°C
- Hot spring >=40°C
- Alteration zone related to geothermal activity
- Geothermal well



Photograph of 15 tons per hour of steam production of the NEDO MT-2 well. It was only the 162.35 m depth well because of the drilling in the remote island (Sueyoshi et al., 2002).

ニューサンシャイン計画終了後もNEDOがIEA地熱実施協定に参加 NEDO kept the IEA-GIA activity after the New Sunshine Project ceased



第20回 IEA地熱
実施協定理事会、
プサン、2008年
10月10日

The 20th
Executive
Committee
Meeting in
Busan, October
10, 2008



パラダイスホテルの理事会の様、
Executive Committee Meeting in
Paradise Hotel.



ポハン巡検の様、2008年10月11日
Excursion to Pohang, October 11,
2008.

IEAとはパリに本部を置く国際エネルギー機関のことである。また、GIAとはIEAの地熱実施協定のことである。

- IEA地熱実施協定では、IEA所在地のパリと世界各地を持ち回りで、年2回、理事会を行っている。
- NEDOの依頼で、私は2005～2012年まで、IEA-GIAの日本代表(理事)を務めた。
- 理事会では、毎回、参加各国が自国の地熱開発進捗状況を報告しているが、日本は地熱低迷期のため、この報告に大いに苦労した。

IEA-GIA means the Geothermal Implementing Agreement of the International Energy Agency.

- IEA-GIA held the executive committee meetings at Paris or other cities every twice a year.
- I was in charge of a representative of Japan requested by NEDO from 2005 to 2012.
- As Japan already entered to the stagnant period, we were so hard to report.

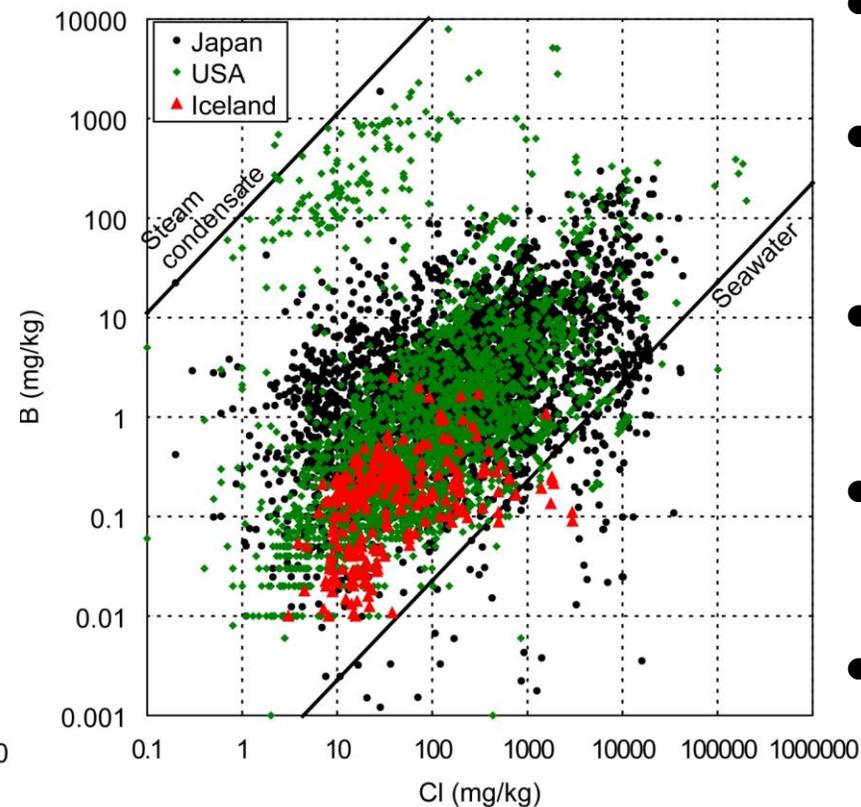
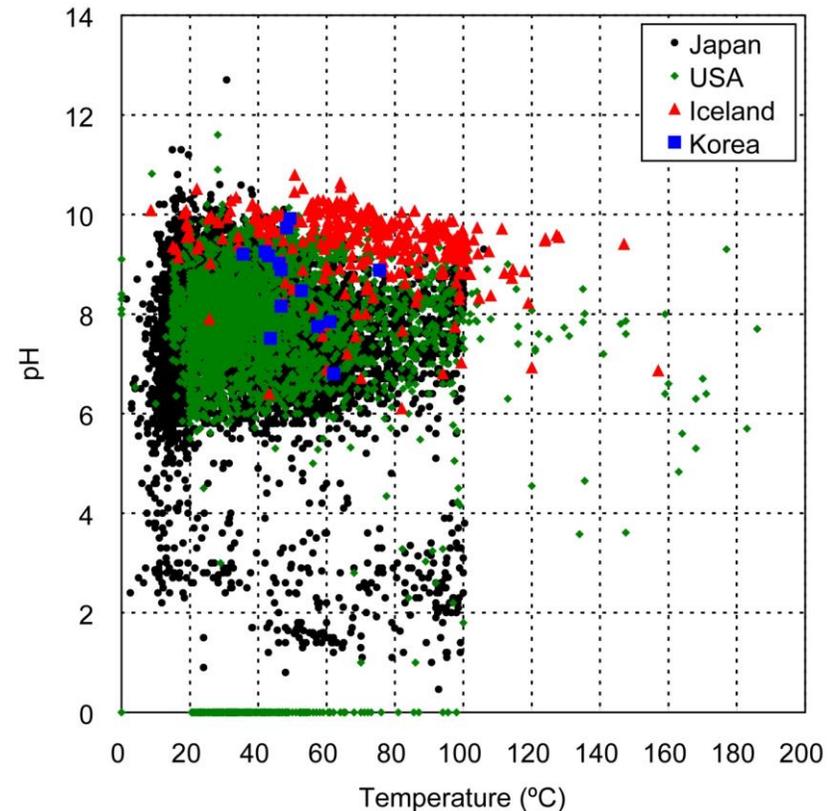
ニューサンシャイン計画終了後もNEDOがIEA地熱実施協定に参加 NEDO kept the IEA-GIA activity after the New Sunshine Project ceased



2010年4月23日インドネシア・バリ島において世界地熱会議に合わせて行われた第23回 IEA地熱実施協定理事会。

The 23rd Executive Committee Meeting of the IEA-GIA in Bali Island, Indonesia on April 23, 2010 simultaneously held with the World Geothermal Congress.

ニューサンシャイン計画終了後もNEDOがIEA地熱実施協定に参加 NEDO kept the IEA-GIA activity after the New Sunshine Project ceased



- 2008年当時、私はIEA地熱実施協定「地熱直接利用」の「資源の特性づけ」のTaskリーダーを務めており、多国間の熱水系の比較を行っていた。
- 花崗岩質地殻の米国や日本などの熱水のpHが中性と酸性であるのに対して、玄武岩質地殻のアイスランドの熱水のpH値が8~11とアルカリ性であることがわかった(Muraoka et al., 2010)。
- これは玄武岩質地殻の塩素含有量が桁違いに小さく、そのために溶存しやすい塩類の形をつくりにくく、 $\text{Na}^+\text{-OH}^-$ のような溶存成分の形態をとるためと考えられる。
- I was in charge of the Task leader of the Resource Characterization of the Direct Geothermal Use of the IEA-GIA, where hot water chemistry was compared among the countries.
- Hot water of the granitic crust such as USA and Japan has neutral or acidic pH but that of the basaltic crust in Iceland has alkaline pH 8-11 (Muraoka et al., 2010).
- This is ascribed that the chloride content is very limited in the basaltic crust. As a result, cation cannot be dissolved as saline water, and is only dissolved as a shape of $\text{Na}^+\text{-OH}^-$.

泉温-熱水pH図 (Muraoka et al., 2010)
Temperature-pH diagram of hot water (Muraoka et al., 2010)

熱水Cl-B図 (Muraoka et al., 2010)
Cl-B diagram of hot water (Muraoka et al., 2010)

結語: 日本こそ世界最大の地熱利用国を目指せ

Conclusions: Japan should aim for the top geothermal utilization country!

- 日本は世界第3位の地熱資源を持っている。
- 日本はすでに2.7万個以上の世界最大の温泉泉源を利用しており、それらの至福の喜びや幸福感を熟知している。
- 日本は世界の7割のシェアを誇る地熱蒸気タービン技術を持っている。
- 日本は世界で最も地震と火山の災害に苦しめられており、それゆえに、高度な地震学・火山学という地熱探査技術を持っている。
- もし、サンシャイン計画や地熱開発促進調査をそのまま継続していたならば、いま、日本の地熱発電は300万kWを超えて、米国やインドネシアと世界一を競い合っていたはずである。
- Japan has the third rank of geothermal potential.
- Japan has more than 27 thousands hot spring sources, number one in the world, and is familiar with their senses of blissful joy and happiness.
- Japan has geothermal steam turbine technology which shares 70 % of the world market.
- Japan was frequently tormented with earthquake and volcanic hazards, and got the advanced geothermal exploration technology as seismology and volcanology.
- If the Sunshine Project and Geothermal Development Promotion Survey are continued, the geothermal power in Japan will exceed 3,000 MWe, probably being competitive with USA and Indonesia.

結語：日本こそ世界最大の地熱利用国を目指せ

Conclusions: Japan should aim for the top geothermal utilization country!

- サンシャイン計画はその夢を実現しつつあったが、残念ながら2000年度に終わってしまった。
- 日本の最大の弱点は地熱エネルギーが持つ多段階利用等の高付加価値が十分に理解されていないことである。
- いまからでも決して遅くはない。日本を世界最大の地熱開発利用国にしようではないか。
- The Sunshine Project was realizing the dream, but unfortunately ceased in FY2000.
- The greatest weakness in Japan is to be unaware of the high-added-value such as the cascade utilization of geothermal energy.
- It is not too late. Shall we make Japan a top geothermal utilization country?



高田敏雄室長(左端)ほか地熱技術開発室の人々に混じって、地熱調査部の私がNEDOの旗を振っているところ。1993年撮影。

Photograph of the NEDO geothermal members taken in 1993. I was waving the NEDO flag.

ご清聴ありがとうございました。 Thank you for your attention!