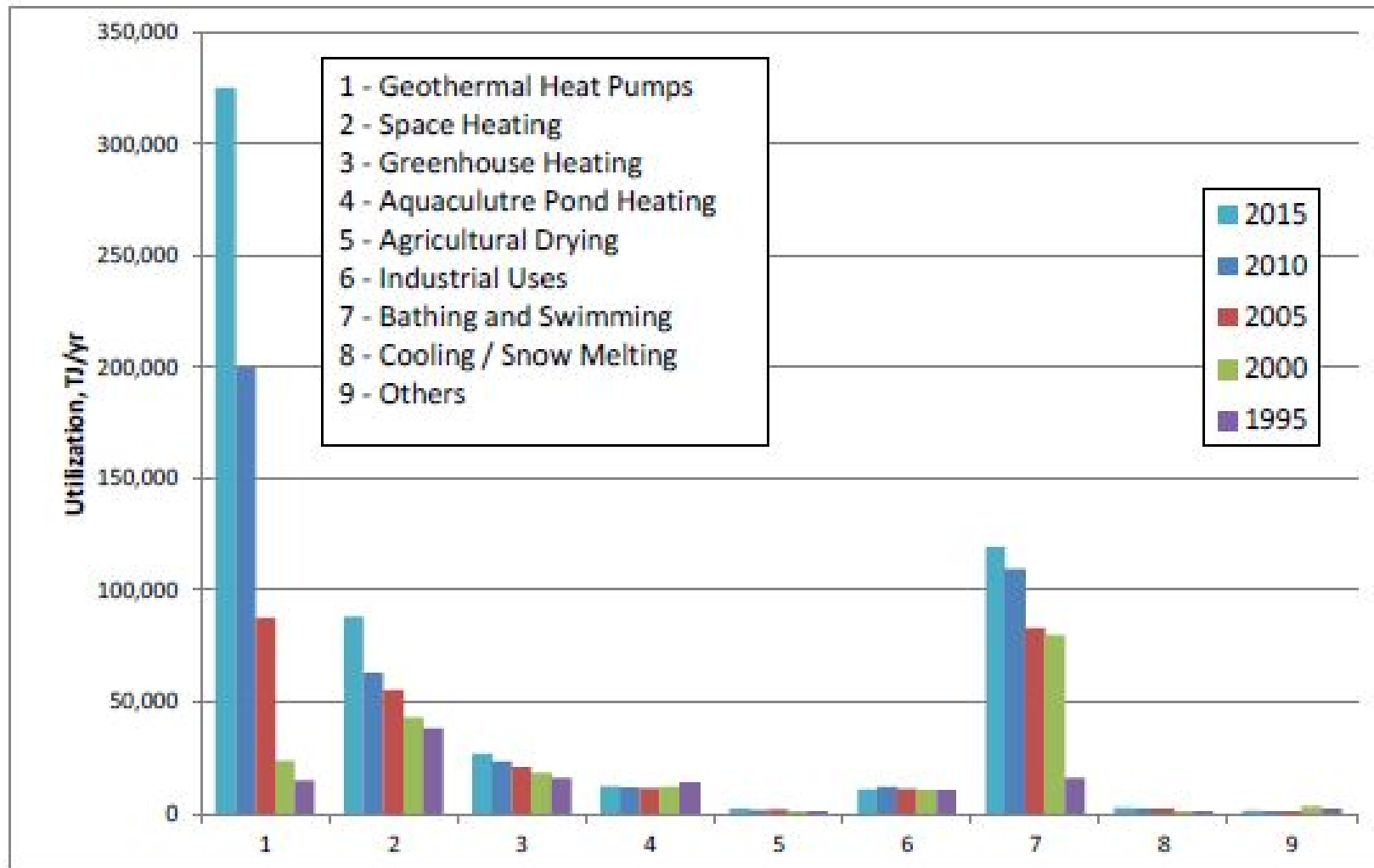


欧米における地下熱利用 と 環境保全

信州大学特任教授
藤縄克之

世界の地下熱直接利用の推移

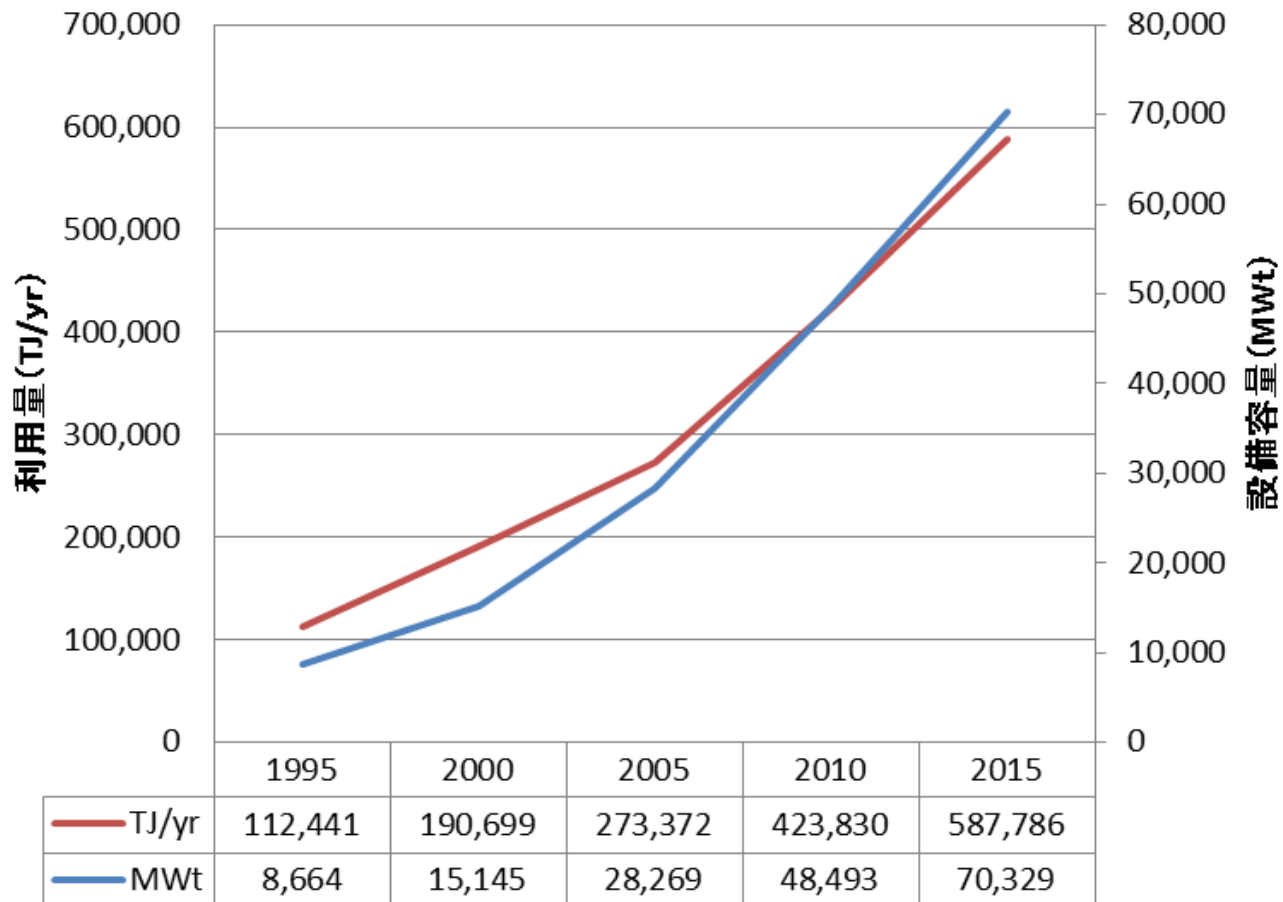


Proceedings World Geothermal Congress 2015 (Melbourne, Australia, 19-25 April 2015)

Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review

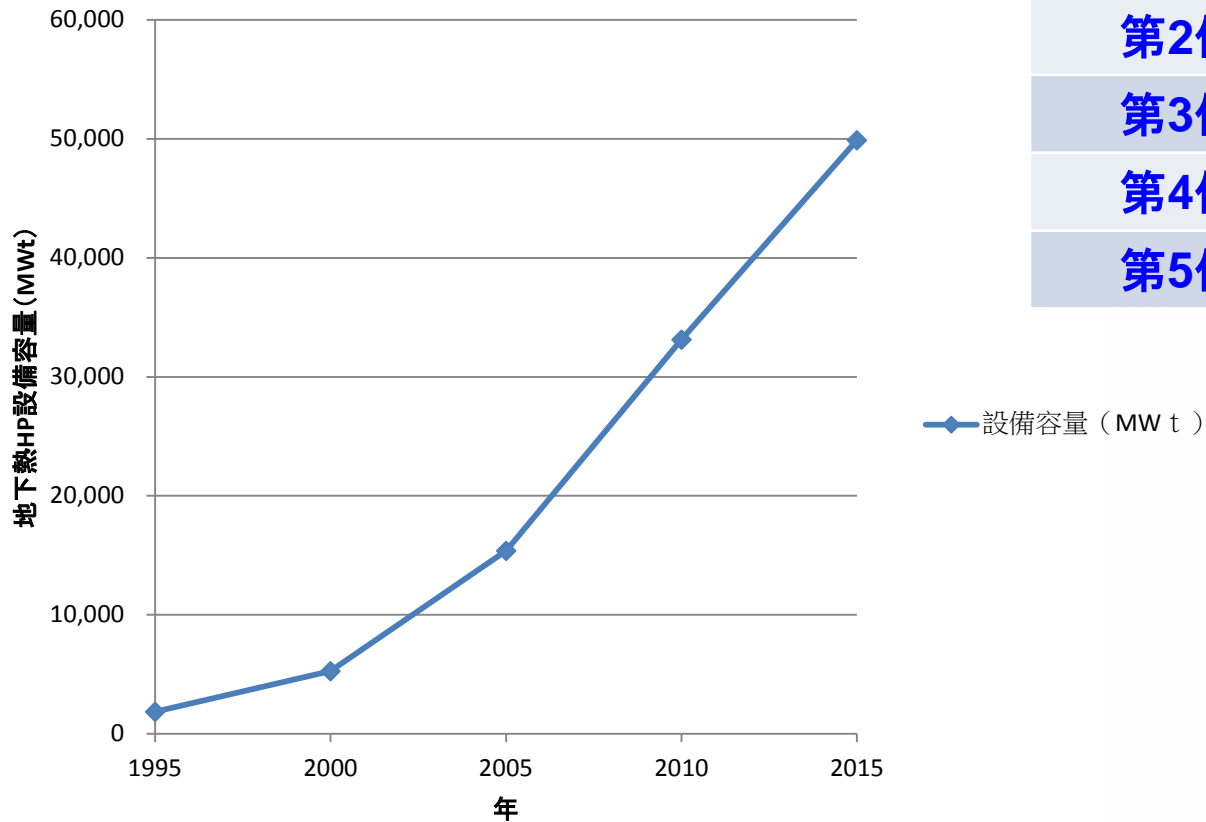
John W. Lund and Tonya L. Boyd

世界の地下熱利用の推移 (1995~2015)



Proceedings World Geothermal Congress 2015 (Melbourne, Australia, 19-25 April 2015)
Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review
John W. Lund and Tonya L. Boyd

設備容量 (MW t)

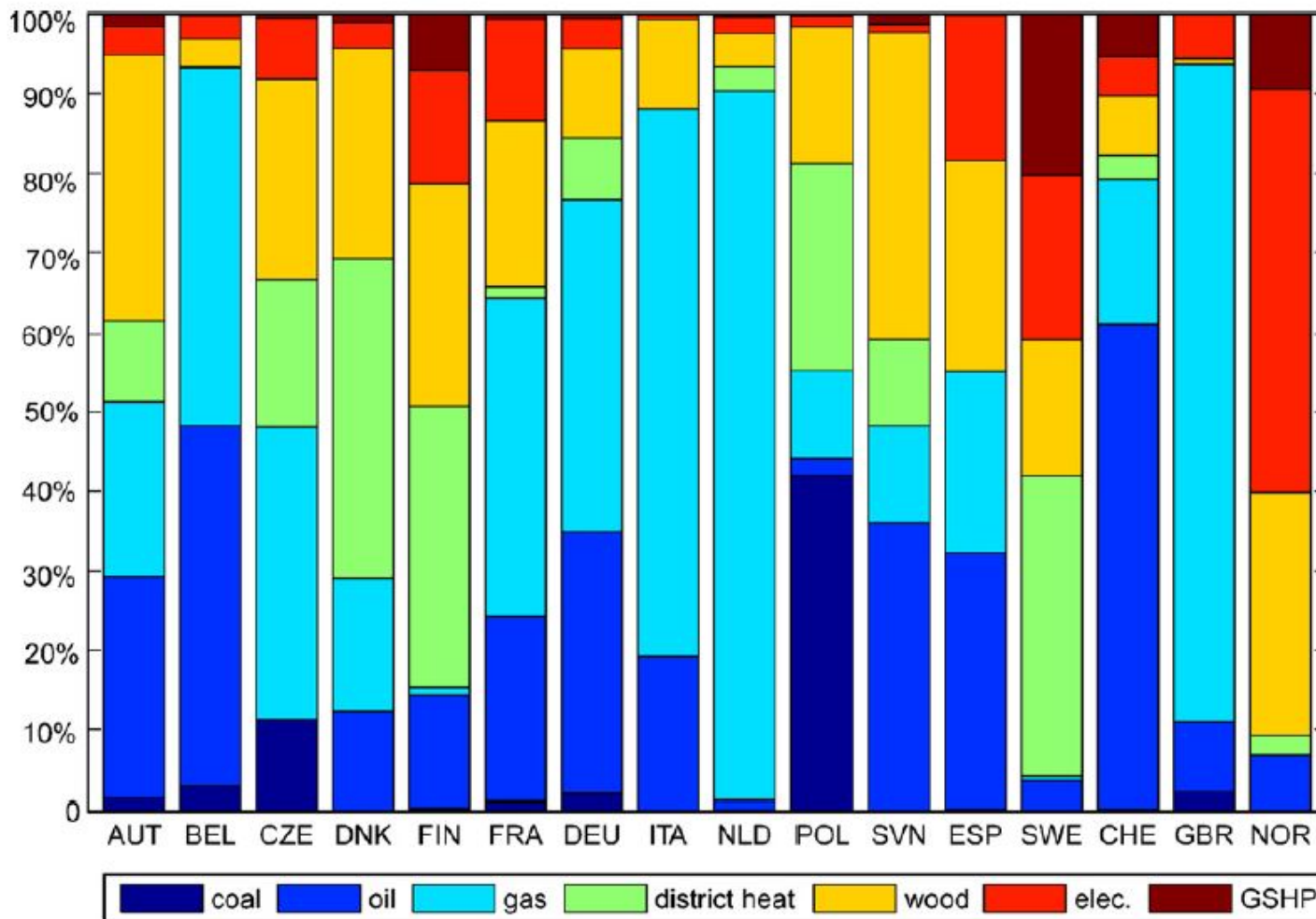


地下熱ヒートポンプ利用上位国

第1位	米国
第2位	中国
第3位	スウェーデン
第4位	ドイツ
第5位	フランス

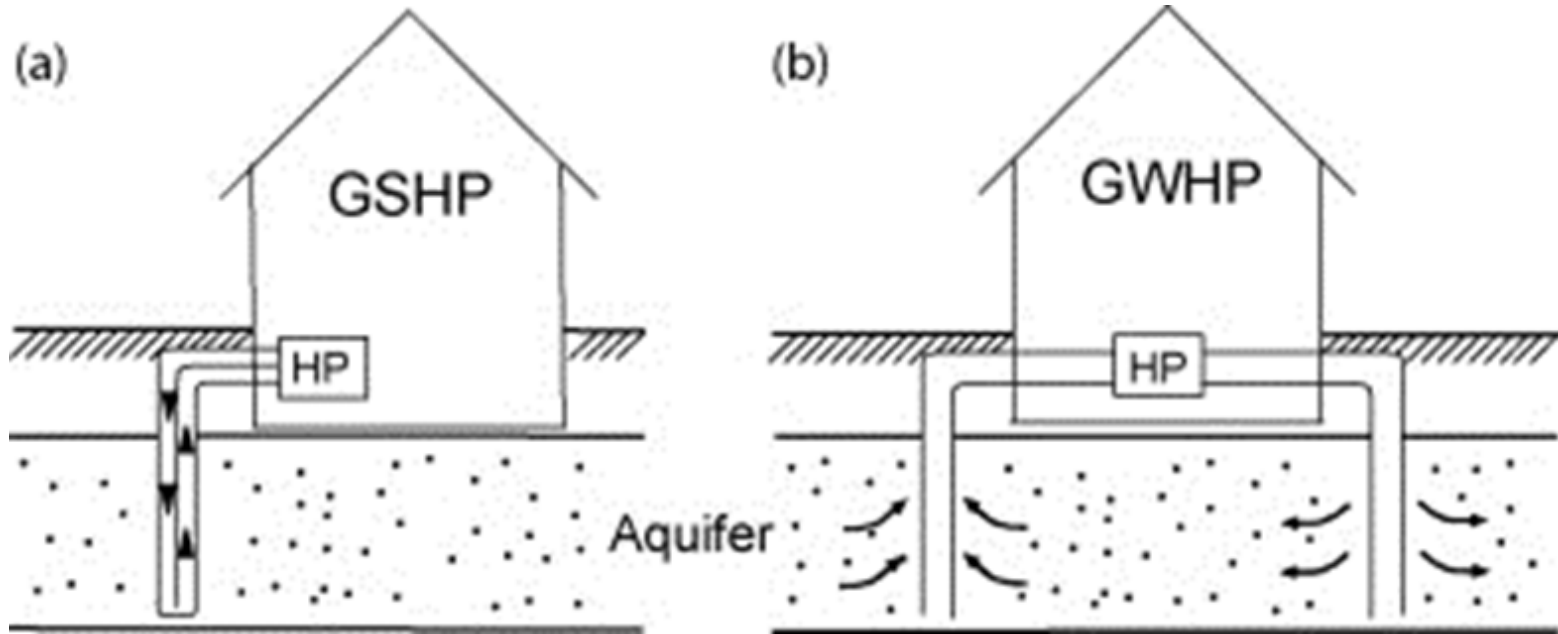
Proceedings World Geothermal Congress 2015 (Melbourne, Australia, 19-25 April 2015)
Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review
John W. Lund and Tonya L. Boyd

欧州における国別熱源比率



註：District Heatとはゴミ焼却場生成熱のこと，GSHPはBTESのみ

Greenhouse gas emission savings of ground source heat pump systems in Europe: A review
 Peter Bayera,*, Dominik Saner, Stephan Bolaya, Ladislaus Rybach, Philipp Blum
 Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 1256– 1267



GSHP(Ground Source Heat Pump)
=BTES(Borehole Thermal Energy Storage)
=Closed System

GWHP(Ground Water Heat Pump)
=ATES(Aquifer Thermal Energy Storage)
=Open System

Stefanie Haehnlein, Peter Bayer, Philipp Blum

International legal status of the use of shallow geothermal energy

Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 9, 2010, 2611–2625

過程	効果	追跡調査結果	潜在的影響	重要性	引用
温度上昇	微生物活動の活発化	鉱物の沈殿	目詰まり	++	Abesser (2007)
			微生物膜	+	Lerm et al. (2011)
		生物付着 粘液生産 個体量増加	目詰まり	-	Wagner et al. (1988)
				-	
				--	Snijders (1990), Wagner et al. (1988)
		酸化鉄の沈殿 腐食		++	Kolb and Heise (1979)
				-	Wagner et al. (1988)
鉱物溶解度の上昇 (鉄、マンガン) ^a	地下水中の鉱物濃度の増加 (酸化鉄の沈殿) 個体量増加(藻、細菌の増加)	目詰まり	++	Andersson (1990), Kolb and Heise (1979)	
			++	UMBW (2009)	
温度低下	CO ₂ 溶解度の上昇	炭酸塩負荷の増加	目詰まり	++	Abesser (2007), Kolb and Heise (1979)
藻の増加	CO ₂ 溶解によるpHの低下	鉱物の沈殿	目詰まり	-	Abesser (2007), UMBW (2009)
資材の取り換え (流土)	空洞の増加		流動パターンの変化	-	Wagner et al. (1988)
	鉱物の蓄積		目詰まり	-	

影響の重要性: (++)高い, (+)普通, (-)低い, (--)とても低い
 危険な鉄濃度 > 0.1mg/l マンガン濃度 > 0.05mg/l (UMBW, 2009)

Sustainability and policy for the thermal use of shallow geothermal energy
 Stefanie Hähnlein, Peter Bayer, Grant Ferguson, Philipp Blum
 Energy Policy 59 (2013) 914–925



基準	目的
技術的に適切な掘削と設備の設置	<ul style="list-style-type: none"> ・作業環境の確保 ・飲料水源としての地下水の保全
埋め戻し作業	<ul style="list-style-type: none"> ・有害物質漏洩の回避(例:熱搬送流体、掘削流体、車・掘削機の油などによる二次汚染) ・地下水生態系への影響の回避 ・異なる帯水層間の水理的連結の回避
最小距離	<ul style="list-style-type: none"> ・累積温度変化の回避 ・他の浅層地下熱システムとの相互干渉の回避 ・他のシステムへの影響の回避(飲料用井戸、水道管、隣接地)
温度変化範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水生態系への影響の回避 ・作業環境の確保

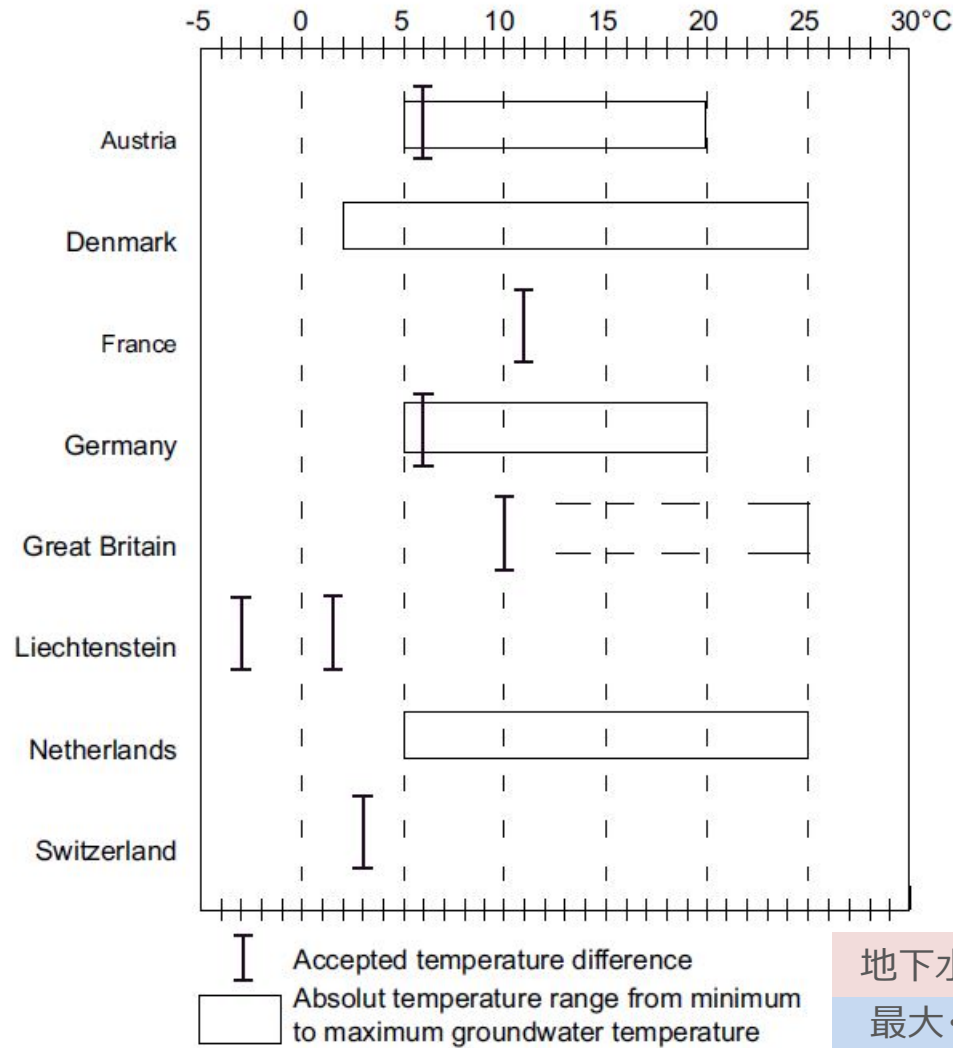
クローズド・オープンタイプ別 浅層地下熱エネルギーシステムに関わる世界の規制状況

	オープンタイプ			クローズドタイプ		
	生態系	科学技術	最小井戸間隔	生態系	科学技術	最小井戸間隔
アルバニア	-	-	-	-	-	-
オーストラリア	-	-	-	-	-	-
オーストリア	+	-	-	-	+	+
ベルギー	-	-	-	-	-	-
ボスニアヘルツェゴビナ	-	-	-	-	-	-
ブルガリア	-	-	-	-	-	-
カナダ	-	-	-	-	-	-
中国	-	-	-	-	-	-
コスタリカ	-	-	-	-	-	-
チェコ共和国	-	-	+	-	-	+
デンマーク	+	-	-	-	+	+
エクアドル	-	-	-	-	-	-
エルサルバドル	-	-	-	-	-	-
フィンランド	-	-	-	-	-	o
フランス	+	-	-	-	-	-
ドイツ	o	o	o	-	o	o
イギリス	o	o	?	?	?	?
ギリシャ	-	-	+	-	-	-
ホンジュラス	-	-	-	-	-	-
ハンガリー	-	-	-	-	-	-
アイスランド	-	-	-	-	-	-
インド	-	-	-	-	-	-
アイルランド	-	-	-	-	-	-
日本	-	-	-	-	-	-
韓国	-	-	-	-	-	-
ラトビア	-	-	-	-	-	-
リヒテンシュタイン	+	-	-	-	-	+
リトアニア	-	-	-	-	-	-
マケドニア	-	-	-	-	-	-
メキシコ	-	-	-	-	-	-
オランダ	+	-	-	-	-	-
ニュージーランド	-	-	-	-	-	-
ノルウェー	-	-	-	-	-	-
フィリピン	-	-	-	-	-	-
ポルトガル	-	-	-	-	-	-
ルーマニア	-	-	-	-	-	-
サウジアラビア	-	-	-	-	-	-
スコットランド	-	-	-	-	-	-
スロバキア	-	-	-	-	-	-
スロベニア	-	-	-	-	-	-
スペイン	-	-	-	-	-	-
スウェーデン	?	?	o	?	?	o
スイス	+	?	?	+	?	?
トルコ	-	-	-	-	-	-
アメリカ	?	?	+	?	?	+
ベトナム	-	-	-	-	-	-
総計	6+	2o	3+	1+	2+	5+
	2o		2o		1o	3o

?, 情報なし; -, 規制なし; +, 法規制あり; o, ガイドラインあり

Stefanie Haehnlein, Peter Bayer, Philipp Blum
International legal status of the use of shallow geothermal energy
 Renewable and Sustainable Energy Reviews,
 Volume 14, Issue 9, 2010, 2611–2625

欧州における地下水温度変化規制値



地下水温度変化許容値
最大・最小地下水温度

Sustainability and policy for the thermal use of shallow geothermal energy
Stefanie Hähnlein, Peter Bayer, Grant Ferguson, Philipp Blum
Energy Policy 59 (2013) 914–925

国	温度変化	温度最大値	温度最小値
	[±K]	[°C]	[°C]
オーストリア	6 ^a	20 ^a	5 ^a
デンマーク	–	25 ^a	2 ^a
フランス	11 ^a	–	–
ドイツ	6 ^b	20 ^b	5 ^b
イギリス	10 ^b	25 ^b	–
リヒテンシュタイン	–3/+1.5 ^a	–	–
オランダ	–	25 ^a	5 ^a
スイス	3 ^a	–	–
^a 規制あり	^b 推奨値		

Stefanie Haehnlein, Peter Bayer, Philipp Blum
International legal status of the use of shallow geothermal energy
 Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 9, 2010, 2611–2625

国	クローズドタイプ	オープンタイプ	法的状況
オーストリア	隣接地境界線まで2.5m	-	推奨値
中国	次のBHEまで3-6m	-	推奨値
チェコ共和国	隣接地境界線まで5m	隣接地境界線まで5m	法規制
デンマーク	飲料用井戸まで300m	-	法規制
フィンランド	下水管まで30m、 排水処理施設まで20m、 下水道、送水管まで5m GWHP井戸まで20m、 GSHP井戸まで40m、 隣の建物まで3m、 隣接地境界線まで10m	-	推奨値
ドイツ	隣接地境界線まで5m 隣のBHEまで10m	-	推奨値(ただし特定州によって異なる)
ギリシャ	-	隣接した建物まで5m 隣の電力線まで20m	許可を含む規制あり
リヒテンシュタイン	隣接地境界線まで3m、 隣のBHEまで6m	-	推奨値
スウェーデン	隣接地境界線まで10m、 隣のBHEまで20m 隣の飲料用井戸まで30m	隣接地境界線まで10m 隣の井戸まで20m 隣の飲料井戸まで30m	推奨値
スイス	隣接地境界線まで3-4m、 隣のBHEまで5-8m	-	推奨値/法規制

Stefanie Haehnlein, Peter Bayer, Philipp Blum

International legal status of the use of shallow geothermal energy

Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Issue 9, 2010, 2611-2625

Aim	Test site and system	Results	Conclusion	References
Dieback and growth of microorganisms	Bremen (North Germany)	No significant influence of temperature on the amount of microorganisms above the freezing point. Only for $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a decrease of living cell number was detectable, potentially caused by speed defrosting	<u>The use of shallow geothermal energy has no influence on the amount of microorganisms in the subsurface</u>	Schippers and Reichling (2006)
Change on bacterial cell number, faunal abundance and water chemistry	Bavaria (South Germany), Oligotrophic shallow quaternary aquifer in with a mean depth of 8–15 m GWHP system	Composition of bacterial and faunal community changes and the diversity increases with rising temperatures, but <u>no significant impacts on bacterial or faunal abundance</u>	Reaction intensity of different species is variable. Tolerance towards temperature changes is obvious for a few days. For undisturbed aquifers a maximum temperature of $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ and temperature difference of $\pm 6\text{ K}$ is acceptable	Briemann et al. (2009, 2011)
Potential of suspected population explosions and subsequent plugging	Stuttgart (South Germany) model of ATES heat storage system	Confirmed field observations on further ATES systems, where no mass explosions could be noticed	<u>Mass explosion is not important as expected</u>	Adinolfi et al. (1994)
Influence of bacteria on operability of the system	Berlin (North Germany; Parliament), quaternary sand aquifer in the North German Basin ATES cold and heat storage system	<u>Formation of iron-sulfide deposits by metabolism support filter clogging</u>	Shifts in microbial community composition can influence lifetime and production ability of ATES systems	Lerm et al. (2011)

硫化鉄の生成によるフィルターが目詰まりは確認されたが、地中の微生物には顕著な影響がみられなかった。

Sustainability and policy for the thermal use of shallow geothermal energy
Stefanie Hähnlein, Peter Bayer, Grant Ferguson, Philipp Blum
Energy Policy 59 (2013) 914–925