

LES SYSTEMES GEOTHERMIQUES QUI S'UTILISENT A DENEIGER L'ASPHALTE DE LA « MICHI-NO-EKI » A HACHI-KITA

Teruyuki Fukuhara*, Hiroshi Watanabe**, Takao Yokoyama**, Toshikazu Ito*** et Gengo Kawai***

*Département de Génie Civil, Université de Fukui,
3-9-1, Bunkyo, Fukui 910-8507 Japon
TEL +81-776-27-8595/FAX +81-776-27-8746
Courrier teruyuki@anc.anc-d.fukui-u.ac.jp

** Département de Génie des Systèmes
Mécaniques, Université de Yamagata,
4-3-16, Jonan, Yonezawa, 992-8510 Japon
TEL +81-238-26-3233/FAX +81-238-26-3233
Courrier hw@dip.yz.yamagata-u.ac.jp

***Ministère de l'Aménagement du Territoire,
Infrastructure et Transports,.

3-10, Saiwai, Toyooka 668-0025 Japon
TEL +81-796-22-3126/FAX +81-796-24-4792
Courrier kawai618@kk.moc.go.jp

1. Résumé

La « Michi-no-Eki » (station-service) de HACHI-KITA est ouverte sur la route 9 à MURAOKA, préfecture de Hyogo, depuis mars 1998. « Hachi-Kita » se sert de deux genres de systèmes pour faire fondre la neige. Ce sont des systèmes qui emploient la chaleur de la terre : une forme d'énergie habituellement inexploitée. L'un des systèmes est celui d'accumulation de chaleur par chauffe-eau « Reservoir Heat Collection System (RHCS) » qui comprend deux chauffe-eau souterrains développés pour déneiger le parking de 1120m² consacré à mettre ou enlever sans danger des chaînes aidant la traction des pneus en hiver. L'autre est un système de transferts de chaleur par trou percé « Borehole Heat Exchange System (BHES) » qui s'utilise à faire fondre la neige sur le trottoir de 310m². On contrôlait continuellement et automatiquement les températures à cent soixante endroits, les données météorologiques et les débits du fluide transportant la chaleur.

On présentera dans cet étude les fonctionnements de déneigement et de refroidissement de l'asphalte des systèmes RHCS et BHES, en plus des changements mensuels des températures dans le chauffe-eau et dans le sol environnant, et de l'accumulation d'énergie thermique saisonnière du RHCS.

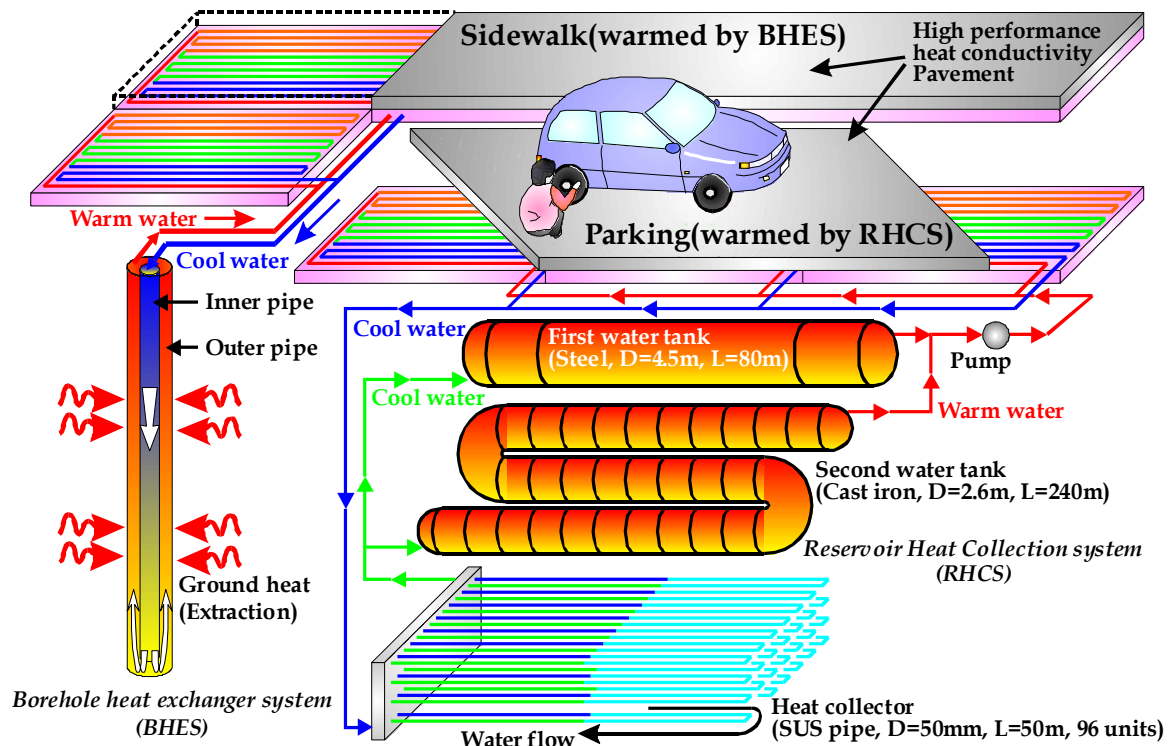


Figure 1 Vue schématique des systèmes de fonte de neige qui utilisent la chaleur géothermique à « Hachi-Kita ».

2. Introduction

A peu près 63% du territoire japonais est soumis à chutes de neige lourdes. Trente-sept pourcent de la population habitent dans ces régions enneigées. Les systèmes d'arrosage, dont l'usage est actuellement très répandu, sont efficaces en ce qui concerne de l'énergie, mais parfois ils peuvent causer des affaissements du terrain très graves, des abaissements de la nappe phréatique, de la pollution de l'eau, et d'autres problèmes environnementaux. Dans une région enneigée près de la Mer du Japon, en-dessous d'une profondeur d'environ cinq mètres, la température de la terre reste entre 10°C et 18°C., selon la saison. (SASATANI et al., 1991 ; WATANABE et al., 1995 ; KAMIMURA et al., 2000 ; et YOKOYAMA et al, 2001). C'est pour les raisons mentionnées ci-dessus, et aussi à cause des caractéristiques du climat et du sol, que l'on peut noter une agréabilité envers l'utilisation directe de la chaleur du sol (sans pompes de chaleur) pour déneiger les chaussées

La station-service « Hachi-Kita » se trouve à une haute altitude de 340m, au pied de « Hyono », la montagne la plus haute de la préfecture de Hyogo. Dû à la commodité routière, elle est souvent chargée de skieurs d'Osaka, de Kobe et de Kyoto. En outre, la route de montagne très raide, avec une pente maximum de 8% aux deux côtés du tunnel de « Tajima ». Pour ces raisons de sécurité routière hivernale, pendant plusieurs années, il nécessitait de construction d'un parking où on pourrait mettre ou enlever les chaînes aidant la traction des pneus. Donc, les systèmes de fonte de neige (chauffage du revêtement), ce qui se montrent schématiquement dans la Figure 1, ont été conçus par les auteurs. Puis, ils ont été construits en 1998 à la « Michi-no-Eki » (parking public et station-service) de Hachi-Kita, Muraoka. Hachi-Kita a deux genres de systèmes de fonte de neige utilisant de l'énergie géothermique. En premier lieu, il y a le système d'accumulation de chaleur par chauffe-eau « RHCS », qui comprend deux chauffe-eau enterrés cinq mètres sous un parking de 1120m². Puis, il y a le système de transferts de chaleur par trou percé « BHES » qui déneige un trottoir de 310m². Sur le restant de la superficie (3160m²), pas trop utilisée par les clients, on a adopté un système d'arrosage par d'eau d'un fleuve voisin.

Dans cet exposé, on discutera les thermodynamiques entre le chauffe-eau et le sol environnant, les équilibres mensuels d'énergie thermique de 1998 à 2000, et l'emmagasiner de chaleur saisonnier du RHCS.

3. L'Usage d'Energie Géothermique à « HACHI-KITA »

3.1. Le RHCS

Le RHCS consiste en deux chauffe-eau et une ramasseur de chaleur. Le premier chauffe-eau est en acier (diamètre 4,5m ; longueur 80m), le deuxième est de fonte (diamètre 2,6m ; longueur 240m), et le ramasseur est un groupe de 96 tuyaux d'inox (diamètre 50mm ; 50m). Il faut aussi noter que l'eau dans les chauffe-eau peu s'utiliser en cas d'urgence comme incendie ou désastre.

Comme les flèches dans la Figure 1 nous illustrent, du fluide relativement chaud du haut de chauffe-eau passe juste en-dessous du revêtement. Par conséquent, il supprime une diminution de température qui arriverait autrement. Lorsque le fluide passe en-dessous du trottoir, jusqu'à ce qu'il atteint le ramasseur, il perd sa chaleur. Si la température du fluide est moins que celle du sol environnant, la chaleur coulerait du sol au RHCS. Ce phénomène empêche une diminution rapide de la température de l'eau.

Par contre, lorsque la température du sol est moins que celle de l'asphalte, du fluide assez froid du fond de chauffe-eau passe sous l'asphalte. Dans ce cas, l'énergie thermique comme source froide supprime une augmentation autrement inévitable de température de la surface du parking. Ensuite, le fluide dans le RHCS se réchauffe lorsqu'il passe par le système de transferts de chaleur, jusqu'à ce qu'il atteint le haut du chauffe-eau. Si la température dans le système est plus haut que celle du sol, la chaleur passerait du RHCS au sol, évitant des ornières causées par poids-lourds. Cette fonction estivale du RHCS contribue à un usage à long terme de chaleur.

3.2. Le BHES

Le BHES consiste en longs trous percés pour transférer la chaleur, et tuyaux scellés 3cm en-dessous du trottoir. Chaque trou fait 100m de long et comprend un tuyau intérieur et un tuyau extérieur de polyéthylène. Celui de l'intérieur a un diamètre externe de 56mm. Sa paroi mesure 3mm. Et le tuyau extérieur est 90mm et 4mm respectivement. Basé sur les essais préliminaires en 1996, on a percé douze trous dans un lot inoccupé derrière les magasins et restaurant dans les bâtiments de la station-service.



Photo. 1 Vue sur le trottoir et le parking qui se relie aux systèmes RHCS et BHES (3 août 1999)

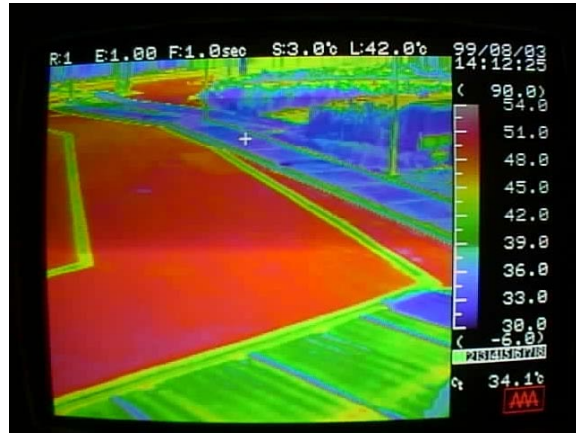


Photo. 2 Contours isothermiques du parking et du trottoir qui se relie aux systèmes RHCS et BHES (14h12, 3 août 1999)



Photo. 3 Conditions de fonte de neige sur le parking qui se relie au système RHCS (21 janvier 2000)



Photo. 4 Conditions de fonte de neige sur le parking qui se relie au système RHCS (12 janvier 1999)

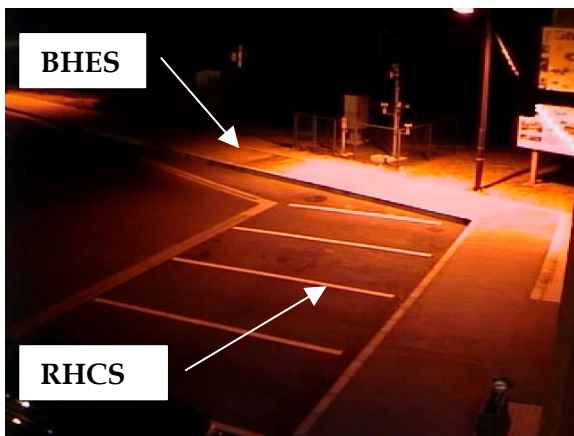


Photo. 5 Vue sur le trottoir et le parking qui se relie aux systèmes RHCS et BHES(12 janvier 2000) (Jan. 12, 2000)



Photo. 6 Contours isothermiques du trottoir et du parking qui se relie aux systèmes RHCS and BHES(12 janvier 2000)

En hiver, le fluide qui est retour du tuyau de transferts de chaleur sous le trottoir, se circule vers le bas du tuyau intérieur et vers le haut du tuyau extérieur. L'énergie géothermique extraite à travers le trou percé s'utilise comme source chaude pour faire fondre la neige. En été, la chaleur du trottoir, issue de l'atmosphère passe dans le sol pendant la circulation du fluide. Pour cela, le BHES peut empêcher une augmentation de température de trottoir.

3.3. La maîtrise de la température de l'asphalte et l'opération du système

Afin d'optimiser la fonction du RHCS et du BHES, il faut limiter l'heure de marche au niveau minimum pour faire fondre la neige ou, en été, pour maintenir des températures de l'asphalte suffisamment basses. Bien que la marche pourrait être plus affinée, le RHCS et le BHES se fonctionnent à présent selon les critères suivants : En hiver, la circulation se démarre quand la température à un point 0.01m en-dessous du trottoir en train de se déneiger tombe au-dessous de 7°C. Elle cesse lorsque cette température monte au-dessus de 10°C. La circulation estivale commence lorsque il fait plus que 25°C au point mentionné. Elle s'arrête quand ce point est moins que 20°C. Pour les besoins de cet expérience, on a changé parfois ces réglages.

4. La maîtrise saisonnière de la température du trottoir

4.1. Le refroidissement du trottoir en été

La Photo.1 nous montre la vue sur l'asphalte ajouté au RHCS et BHES. C'est à dire que l'on voit les de l'asphalte déneigé du système juste à côté de l'asphalte normal. Photo.2 représente le profil isothermthermal des températures superficielles du revêtement qui figure sur la Photo.1, mesuré le 3 août, 1999 à 14h12. Ce profil nous indique que le fonctionnement de refroidissement du RHCS et du BHES est très bien marqué. On a observé que la température de l'asphalte raccordé aux systèmes était environ 20°C moins que le restant de l'asphalte.

4.2. Le déneigement et le déglçage en hiver

Les Photos. 3 et 4 indiquent que les systèmes BHES et RHCS sont très efficaces en ce qui concerne le déneigement et le déglçage. Sans s'inquiéter pour glisser, les clients pouvaient marcher autour le parking ou mettre et enlever sans danger leurs chaînes de traction des pneus.

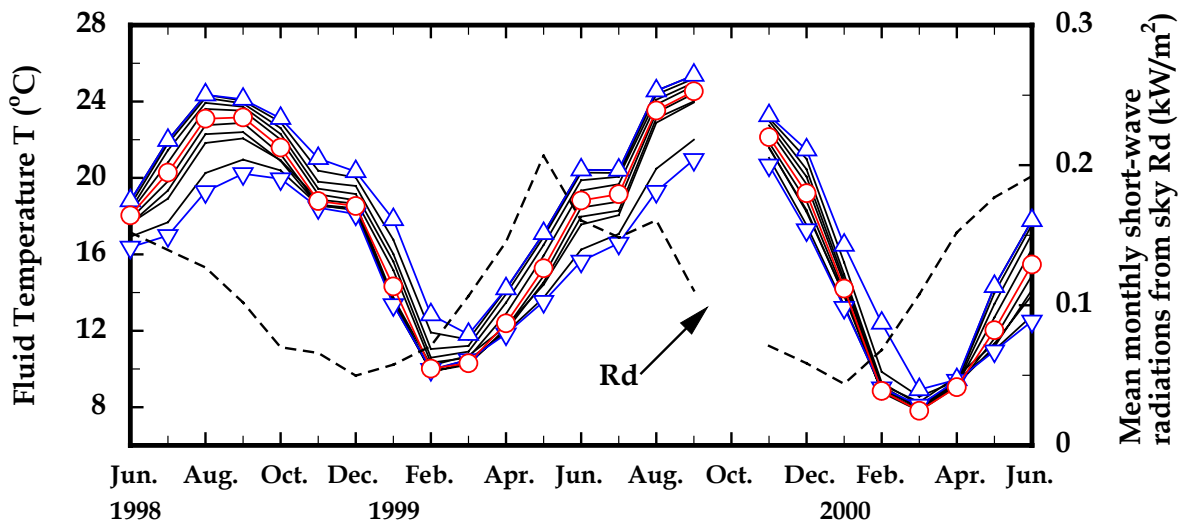
Sur la Photo. 5, on voit de l'asphalte soumis au refroidissement radiatif, aussi que de l'asphalte qui n'y est pas soumis. (2h00, 12 janvier 2000).

La Photo. 6 est le profil isothermal de la Photo. 5. La surface faisait environ 5°C plus que la surface de l'asphalte normale. On a observé que le RHCS et le BHES fait fondre la neige et déglçe suffisamment bien le revêtement.

5. La thermodynamique du RHCS

5.1. Le changement mensuel de la température dans le chauffe-eau

Ensuite, il est nécessaire que l'on discute si le RHCS a une fonction d'emmagasiner saisonnier d'énergie thermique : « seasonal thermal energy storage (STES) » ou non, et si ce STES contribue à la refroidissement estival du trottoir et de son déneigement. La Figure 2 montre les variations temporelles de la température du fluide dans le premier chauffe-eau. Les symboles de triangle, cercle et triangle à l'envers représentent respectivement le haut, le milieu et le fond du chauffe-eau. En octobre 1999, le système est tombé en panne. Donc il manque ces données. La température fluide du haut (Δ) a atteint 24°C en août de la première année, et au bout de l'hiver suivant, elle est tombée à



Figures 2 Variations temporelles de température du fluide

10°C. Cependant, la température gardait un niveau assez important de plus que 20°C en décembre avant la saison de chutes lourdes de neige. La différence entre les températures du haut et du fond a été environ 5°C en août 1998. En mars 2000, elle est devenue à peu près 1°C. En hiver, cette différence a mesuré moins qu'en été. Pourtant, l'eau dans le chauffe-eau restait toujours stratifiée et stable. La température minimum (8 - 10°C) de l'eau était quand même suffisamment chaude pour faire fondre la neige. Comme mentionné ci-dessus, la variation saisonnière des températures du liquide dépend du climat, et des fonctions de déneigement et du refroidissement.

5.2. Le changement mensuel des profils de température du chauffe-eau et du sol

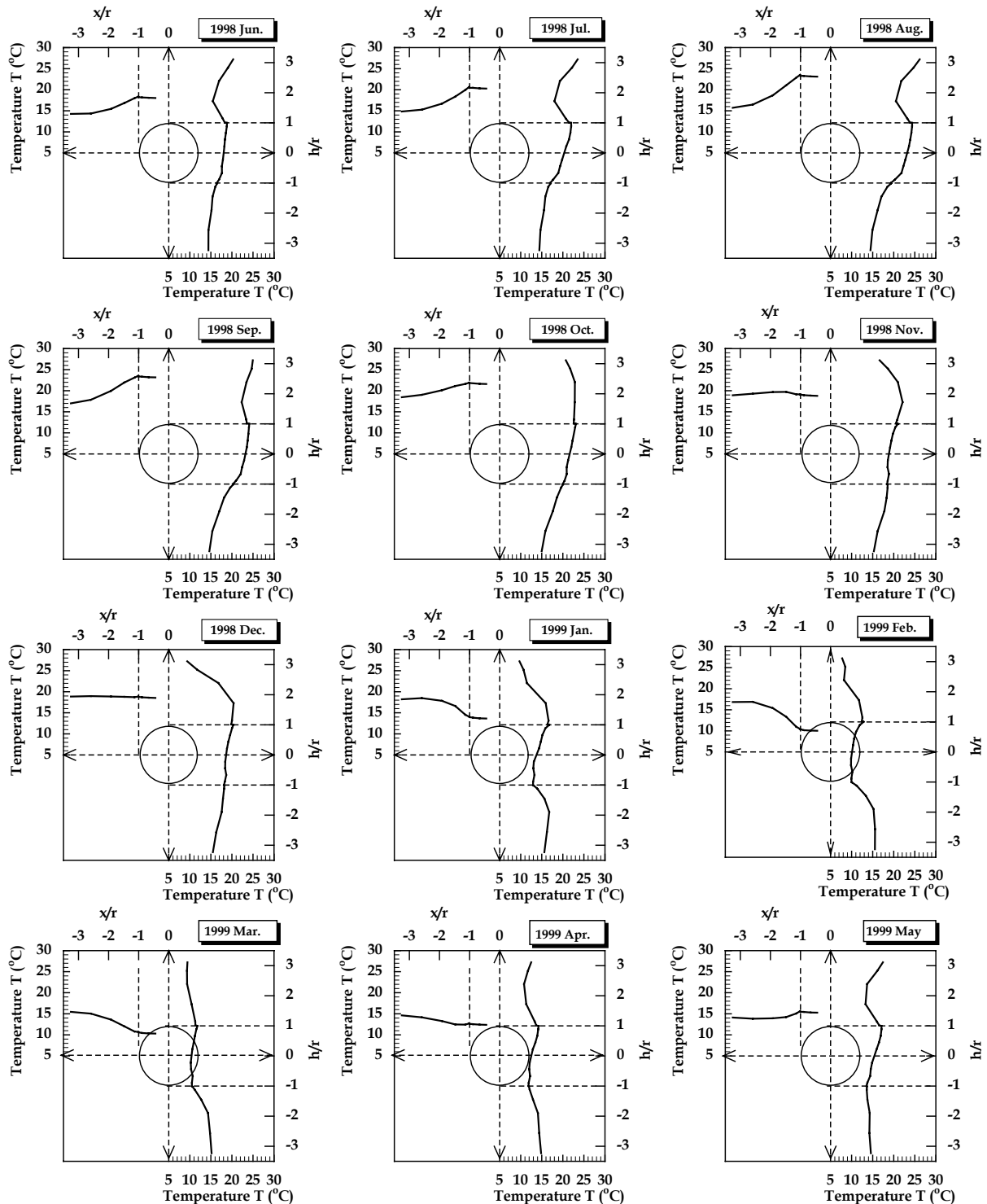


Figure 3 Profils thermiques des températures du fluide et du sol environnant le chauffe-eau (juin 1998 - mai 1999)

Figure 3 souligne le changement mensuel des profils en deux dimensions des températures de l'eau et du sol environnant le premier chauffe-eau de juin 1998 en mai 1999. L'axe horizontal (x/r) et l'axe vertical (h/r) sont les distances sans dimension, normalisées par le diamètre du chauffe-eau ($r=2.25m$). Les profils de température dans un rayon de 5m autour du chauffe-eau se tracent à l'horizontal et au vertical.

La période de juin en août 1998 : Puisque de l'eau relativement chaude revient en haut du chauffe-eau pendant l'été, les températures là-dedans et autour lui augmentent peu à peu. Les profils de l'axe horizontal nous indiquent que plus que l'on approche du chauffe-eau, plus qu'une augmentation de température de la terre devient évidente. En examinant l'axe vertical, on peut voir clairement qu'il y a une augmentation près du chauffe-eau et de la surface.

Septembre – novembre 1998 : Le gradient en direction horizontale diminue peu à peu avec le temps. Plus on approche de la surface du sol, plus l'inclinaison négative du profil vertical de sa température devient claire. Comme on a déjà mentionné, la température du fluide en haut est plus augmentée que celle en bas. Et le fluide dans le chauffe-eau est stratifié.

Décembre 1998 - février 1999 : En direction horizontale, la température de la terre près du chauffe-eau en décembre est identique. Il fait $20^{\circ}C$, cinq degrés en-dessus de la température ambiante du sol. De janvier en février, la température du fluide a vu une diminution rapide d'environ $10^{\circ}C$, liée à l'extrait de chaleur pour faire fondre la neige. Cependant, la température à 5m en-dessous du fond de chauffe-eau restait longtemps presque stable au niveau de $15^{\circ}C$, malgré la diminution de la température du liquide. En conséquence, on a découvert que l'effet de l'emmagasinage de chaleur en été, reste au moins jusqu'au commencement d'hiver.

Mars - mai 1999 : La température minimum de l'eau a atteint encore peu à peu $10^{\circ}C$. Ce phénomène est associé à l'extrait de la chaleur du sol et aussi à l'afflux du fluide chaud dans le chauffe-eau pendant le fonctionnement du refroidissement du trottoir.

5.3. L'équilibre saisonnier de l'énergie thermique du RHCS

L'équilibre saisonnier de l'énergie de chaleur se détermine par l'équation ci-dessous (FUKUHARA et al., 2000).

$$dU = E_G + E_F \quad (1)$$

où dU représente le taux en fonction de temps de l'énergie interne du fluide dans le chauffe-eau, E_G signifie le flux d'énergie à travers la paroi du chauffe-eau ($E_G > 0$ correspond à la chaleur issue du sol) et E_F est l'augmentation nette de l'énergie pendant la circulation dans les tuyaux transportant

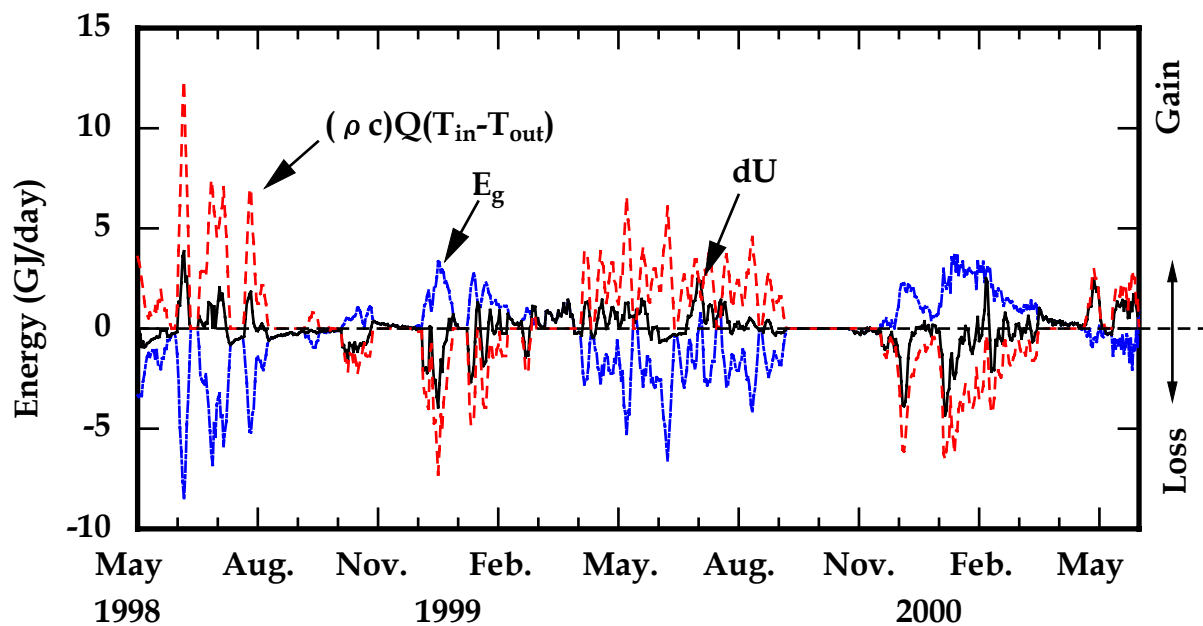


Figure 4 Série temporelle de l'équilibre de l'énergie thermique dans le premier chauffe-eau (mai 1998 – juin 2000)

la chaleur. On a calculé E_F par le produit de la capacité de chaleur volumétrique (ρc), le débit de circulation Q et la différence entre la température d'arrivée T_{in} et la température d'écoulement T_{out} .

La Figure 4 montre la variation temporelle de l'usage d'énergie thermique dans le premier chauffe-eau de mai 1998 en juin 2000. Grâce au fonctionnement de déneigement de novembre en mars, la valeur de E_F est négative. Par contre, E_F est positif entre avril et septembre, à cause du fonctionnement de refroidissement de l'asphalte. Il existe une forte corrélation négative entre E_F et E_G . Cela veut dire que de l'énergie thermique alimentée du chauffe-eau à l'asphalte en hiver reste pour être reprise en été de la surface à travers la paroi du chauffe-eau. Donc, ce transfert saisonnier de chaleur permet la suppression d'une augmentation ou d'une baisse grave de dU .

6. Conclusions

Afin de contrôler la thermodynamique du RHCS et de découvrir sa marche optimale, on a pris depuis mars 1998 à Hachi-Kita des mesures continuelles des températures dans le chauffe-eau et dans le sol environnant.

On a parvenu aux conclusions ci-dessous :

- 1) Etant donné que la chaleur lâchée des tuyaux de transfert peut garder la température de l'asphalte au-dessus de 6°C, la performance en ce qui concerne le déneigement du RHCS et du BHES a été complètement satisfaisante. En somme, les clients pouvaient conduire, marcher du parking au bâtiments de la « Michi-No-Eki », ou mettre ou enlever les chaînes sans obstacle de neige.
- 2) La température du fluide a été aussi haut que 19.8°C le 31 décembre, et il existait un zone de température haute dans le sol (17-20°C), 2-5°C au-dessus de la température ambiante du sol environnant les chauffe-eau, même en hiver. Par cela, on a pu confirmer que l'emmagasiner d'énergie thermique pendant l'été reste jusqu'au commencement de l'hiver suivant.
- 3) Le refroidissement de l'asphalte en été peut garder sa température en-dessous de 40°C. Cela peut empêcher des ornières causées par les poids-lourd ; et du rayonnement ascendant des trottoirs.
- 4) En ce qui concerne le RHCS, une partie du fonctionnement de déneigement et de refroidissement est soutenue par l'accumulation saisonnière d'énergie thermique par le chauffe-eau et le sol environnant.

7. References

- 1) SASATANI, S. et al. 1991, Déglacage d'une route par l'extrait de l'énergie de chaleur de la terre avec bâton d'aluminium, 45^{ème} Conférence annuelle de la Société japonaise de la Génie civile, II-29 (en japonais).
- 2) KAMIMURA, S. et al. 2000, Pavement snow-melting system utilizing shallow layer geothermal energy, Proc. of the fourth international conference on snow engineering, pp.409-416.
« Un système de déneigement de trottoir utilisant de l'énergie géothermique de profondeur superficielle, 4^{ème} Conférence internationale sur l'Ingénierie par rapport de la neige » pp.409-416 (en anglais)
- 3) YOKOYAMA, T. et al. 2001, Thermodynamiques de l'extrait de chaleur de la terre par rapport d'un système de transferts de chaleur, 38^{ème} Colloque japonaise sur le Transfert de chaleur, D335 (en japonais).
- 4) WATANABE, H. et al. 1995, Maîtrise des températures de l'asphalte par un système d'accumulation de chaleur par chauffe-eau (Reservoir Heat Collection System), 51^{ème} Conférence annuelle de la Société japonaise de la Génie civile, CS-11 (en japonais).
- 5) FUKUHARA, T. et al. 2000, Seasonal thermal interaction between ground and a shallow water tank, Proceeding of 8th International Conference on Thermal Energy Storage TERASTOCK 2000, pp. 251-256.
« Interaction thermique saisonnière entre la terre et un chauffe-eau de profondeur superficielle, 8^{ème} Conférence internationale sur l'Accumulation de l'énergie thermique, TERASTOCK 2000 » pp.251-256 (en anglais)