

## Research Article

# Preparation of Size-Controlled Silver Nanoparticles and Chitin-Based Composites and Their Antimicrobial Activities

Vinh Quang Nguyen,<sup>1,2</sup> Masayuki Ishihara,<sup>2</sup> Yasutaka Mori,<sup>2,3</sup> Shingo Nakamura,<sup>4</sup> Satoko Kishimoto,<sup>5</sup> Hidemi Hattori,<sup>2</sup> Masanori Fujita,<sup>2</sup> Yasuhiro Kanatani,<sup>6</sup> Takeshi Ono,<sup>7</sup> Yasushi Miyahira,<sup>7</sup> and Takemi Matsui<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065, Japan

<sup>2</sup> Research Institute, National Defense Medical College, 3-2 Namiki, Tokorozawa, Saitama 359-1324, Japan

<sup>3</sup> Aeromedical Laboratory, Japan Air Self-Defense Force, Saitama, Japan

<sup>4</sup> Department of Surgery, National Defense Medical College, 3-2 Namiki, Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan

<sup>5</sup> Institute of Medical Science, Dokkyo Medical University, Tochigi 321-0293, Japan

<sup>6</sup> Department of Health Crisis Management, National Institute of Public Health, Wako, Saitama 351-0197, Japan

<sup>7</sup> Department of Global Infectious Diseases and Tropical Medicine, National Defense Medical College, 3-2 Namiki, Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan

Correspondence should be addressed to Masayuki Ishihara; [ishihara@ndmc.ac.jp](mailto:ishihara@ndmc.ac.jp)

Received 16 January 2013; Accepted 13 February 2013

Academic Editor: Zhenhui Kang

Copyright © 2013 Vinh Quang Nguyen et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

A simple method for the preparation of size-controlled spherical silver nanoparticles (Ag NPs) was reported for their generation by autoclaving a mixture of silver-containing glass powder and glucose. The particle size is regulated by the glucose concentration, with concentrations of 0.25, 1.0, and 4.0 wt% glucose providing small ( $3.48 \pm 1.83$  nm in diameter), medium ( $6.53 \pm 1.78$  nm), and large ( $12.9 \pm 2.5$  nm) particles, respectively. In this study, Ag NP/chitin composites were synthesized by mixing each of these three Ag NP suspensions with a <5% deacetylated (DAC) chitin powder (pH 7.0) at room temperature. The Ag NPs were homogeneously dispersed and stably adsorbed onto the chitin. The Ag NP/chitin composites were obtained as yellow or brown powders. Approximately 5, 15, and 20  $\mu\text{g}$  of the small, medium, and large Ag NPs, respectively, were estimated to maximally adsorb onto 1 mg of chitin. The bactericidal and antifungal activities of the Ag NP/chitin composites increased as the amount of Ag NPs in the chitin increased. Furthermore, smaller Ag NPs (per weight) in the chitin composites provided higher bactericidal and anti-fungal activities.

## 1. Introduction

In recent years, silver nanoparticles (Ag NPs) have been the subject of many studies due to their potential in various applications such as catalysts, photonic devices, biosensors, antimicrobials, and drug delivery systems [1–4], since their chemical properties are significantly different from those of the bulk material. Their special and unique properties can be attributed to their smaller size and larger specific surface area, and many preparation processes have been proposed for controlling the physical and/or chemical characteristics of Ag NPs [5–9].

Environmentally friendly processes using harmless materials are often used to prepare Ag NPs, since complicated purification is then not required for biomedical and environmental applications. Raveendran et al. produced Ag NPs with diameters of less than 10 nm using a process that employs D-glucose as the reducing agent and soluble starch as the stabilizing agent [10]. The particle sizes of Ag NPs are usually controlled by modifying reaction system parameters such as pH, temperature, and reactant concentrations. The choice of stabilizing agent is an important factor for controlling the particle size of Ag NPs since  $\text{Ag}^+$  is reduced within the nanoscopic templates of the stabilizing agent [11].

The antimicrobial activity of zerovalent silver is strictly dependent on the surface development of the solid phase. When the solid phase is in a nanoparticle form, the resulting antimicrobial activity can be significantly increased, and smaller Ag NPs may be several orders of magnitude more active than the corresponding bulk solid. Therefore, Ag NPs adsorbed onto surfaces of various biomaterials are a potentially great choice when fabricating materials with antimicrobial properties [12, 13].

The particle size of Ag NPs is one of the most fundamental parameters that affects their optical [14], antimicrobial [15–17], and antiviral properties [18, 19]. Sondi et al. reported that the antimicrobial activity of Ag NPs towards Gram-negative bacteria is dependent on the concentration of Ag NPs, and that the Ag NPs form “pits” in the cell wall of bacteria [15]. Sondi et al. speculated that a similar mechanism may cause the degradation of the membrane structure of *Escherichia (E.) coli* during treatment with Ag NPs [15]. Ag NPs also exhibit potent antifungal effects, probably through the destruction of membrane integrity [20].

However, there are some concerns about the biological and environmental risks of Ag NPs. It is known that Ag NPs have adverse effects on some aquatic organisms, for example, cytotoxicity and genotoxicity to fish [21] and the inhibition of photosynthesis in algae [22]. In mammals, a significant decline in mouse spermatogonial stem cells has been observed following dosing with Ag NPs [23]. Therefore, methods for preventing the diffusion of Ag NPs into the environment and their uptake by living organisms are required before designed antimicrobial materials containing Ag NPs can be widely used [21–23]. In a previous study, we developed an environmentally friendly process for tightly controlling the size distribution of Ag NPs [24]. This process uses only three materials: AgNO<sub>3</sub>-containing glass powder, glucose, and water. The AgNO<sub>3</sub>-containing glass powder is commonly used in environmental, osteal, and dental applications as an antimicrobial agent since it releases silver ions (Ag<sup>+</sup>) into aqueous environments in a sustained manner. Glucose has the advantages of being environmentally friendly and a mild reducing agent, which enables the reaction kinetics to be easily controlled. The synthesis of the Ag NPs was performed in an aqueous medium using an autoclave at 121°C and 200 kPa for 20 min. Caramel, which is formed from glucose during autoclaving, in turn functions as the stabilizing agent for Ag NPs in this system [24]. However, it is difficult to remove the caramel from the generated Ag NPs suspension without agglomeration and precipitation of the Ag NPs.

Chitin/chitosan is the collective name for a family of de-*N*-acetylated chitin with different degrees of deacetylation [25, 26]. In general, when the number of *N*-acetylglucosamine units exceeds 50%, the biopolymer is termed chitin, whereas the term “chitosan” is used to describe the polymer when the *N*-acetylglucosamine content is less than 50%. Chitin/chitosan has been studied as a natural cationic biopolymer because of its excellent biocompatibility, biodegradability, nontoxicity, antimicrobial capability, and stimulation of wound healing [25, 26]. These properties of chitin/chitosan are dependent on the molecular weight and degree of deacetylation (Dac) [25, 26]. The Dac affects the

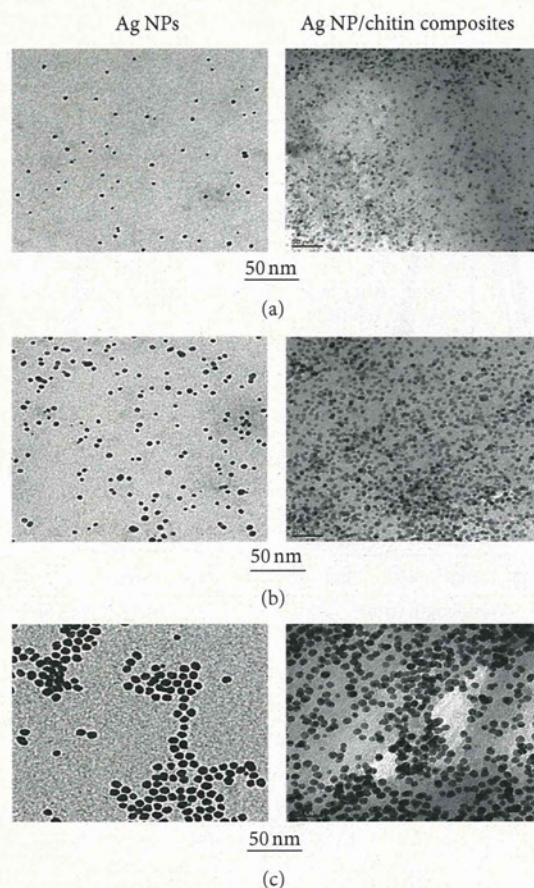


FIGURE 1: (a) TEM micrograph of small Ag NPs and small Ag NP/chitin composites (5  $\mu\text{g}$  Ag NPs in 1 mg chitin). (b) TEM micrograph of medium Ag NPs and medium Ag NP/chitin composites (10  $\mu\text{g}$  Ag NPs in 1 mg chitin). (c) TEM micrograph of large Ag NPs and large Ag NP/chitin composites (10  $\mu\text{g}$  Ag NPs in 1 mg chitin).

solubility, hydrophobicity, and ability of chitosan to interact electrostatically with polyanions via its protonated amino groups. In fact, our previous study showed that chitosan with 83% Dac interacts with Ag NPs, which are negatively charged due to halogenation and oxidization [24].

In the present work, we added chitin with <5% Dac as a stabilizer to Ag NP suspensions to remove the generated caramel and to prevent agglomeration and precipitation of the Ag NPs. The Ag NPs adsorbed onto chitin powder were substantially stabilized compared to those in the absence of chitin. The size-controlled Ag NP/chitin composites were evaluated for their bactericidal (against *E. coli* (strain DH5 $\alpha$ )) and antifungal (against *Aspergillus (A.) niger*) activities.

## 2. Materials and Methods

**2.1. Materials.** Silver-containing glass powder (BSP21, silver content: 1 wt%, average grain size: 10  $\mu\text{m}$ ) was obtained from Kankyo Science (Kyoto, Japan). Chitin with <5% Dac was purchased from Seikagaku Corp. (Tokyo, Japan). D-glucose

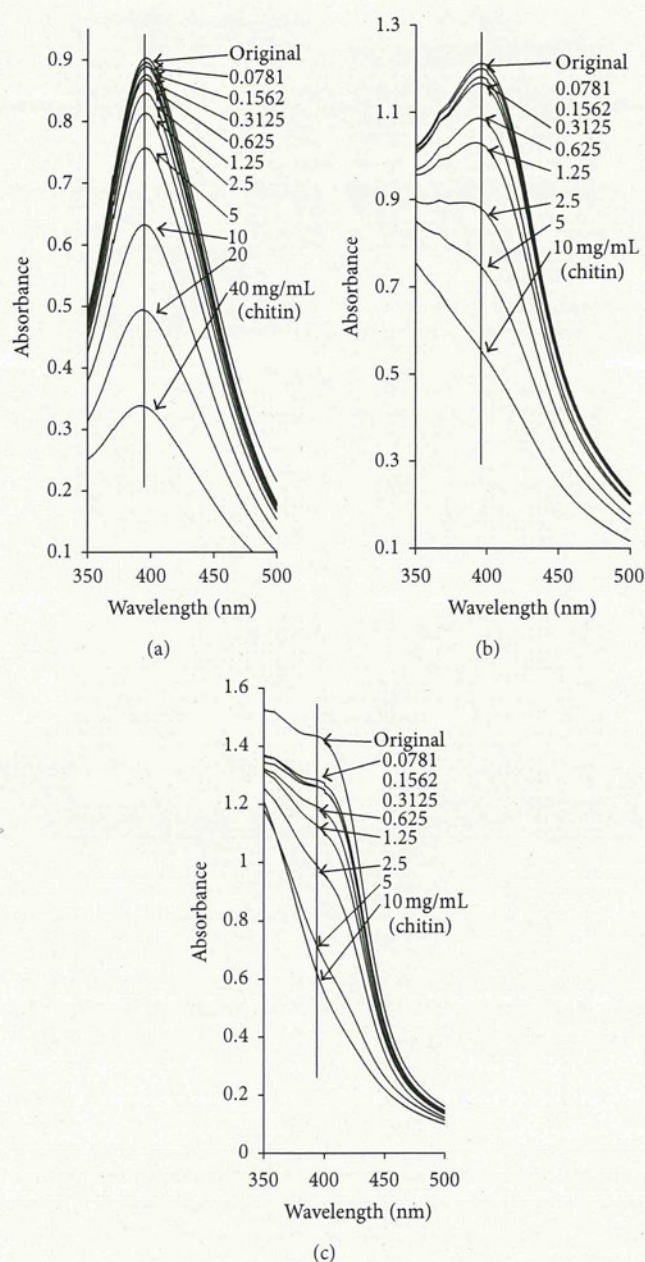


FIGURE 2: UV-Vis spectra of small (a), medium (b), and large (c) original Ag NPs in suspensions (original) and supernatants from the postreaction mixture in which various amounts of chitin were reacted with the Ag NPs. Excess Ag NPs in the supernatant of the postreaction mixture decreased as the amount of chitin added increased.

was purchased from Wako Pure Chemical Industries, Ltd. (Osaka, Japan). All chemicals were used as received.

**2.2. Preparation of Ag NPs.** A suspension of size-controlled Ag NPs was prepared as previously described [24]. Briefly, 0.50 g of silver-containing glass powder was dispersed in 50 mL of an aqueous solution of 0.25, 1, or 4.0 wt% glucose in a 100 mL glass vial. The mixture was autoclaved using an Ikemoto IMC-30L autoclave (Ikemoto Inc., Tokyo, Japan) at

121°C and 200 kPa for 20 min. The mixture was then gradually cooled to room temperature and centrifuged at 3000 rpm for 10 min. The supernatant containing the Ag NP suspension was removed and stored in the dark at 4°C. The average diameters of Ag NPs prepared with 0.25, 1, and 4 wt% glucose were  $3.48 \pm 1.83$ ,  $6.53 \pm 1.78$ , and  $12.9 \pm 2.50$  nm, respectively [24].

**2.3. Preparation of Ag NP/Chitin Composites.** In this study, 10 mg of chitin (<5% DAC) was added to 1 mL of each Ag NPs suspension (about 60  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ). The mixture was mixed well (at pH 7.0) on a shaker (MildMixer PR-36; TAITEC, Tokyo, Japan) for 30 min. The insoluble Ag NP/chitin composites were centrifuged at 6000 rpm for 10 min. The supernatant was analyzed using UV-visible spectrometer (Jasco V-630, Tokyo, Japan) to measure the amount of unreacted Ag NPs. The centrifuged composites were washed twice with distilled water by centrifugation at 6000 rpm for 10 min. The washed composites were dried up at 70°C on a block heater (EYELA/MG-2200, Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan) for 2 h and used in bactericidal or antifungal assays the same day.

The Ag NPs were homogeneously dispersed and stably immobilized in the chitin matrices. TEM specimens were prepared by casting 5  $\mu\text{L}$  of a suspension of Ag NPs onto a carbon-coated copper grid; excess solution was then removed using filter paper, and the specimens were dried at room temperature. TEM images were obtained using a JEOL JEM-1010 microscope (Nihon Electronics Inc., Tokyo, Japan) at 80 kV. The size distribution of each Ag NPs was determined using an image analysis software [27] in each TEM image.

**2.4. Bactericidal Activity of the Ag NP/Chitin Composites.** A culture of *Escherichia coli* (*E. coli*: strain DH5 $\alpha$ , Takara Co., Kyoto, Japan) was stored in Luria-Bertani (LB) broth medium containing 50% sterile glycerol at -80°C. Overnight cultures were prepared by growing a single *E. coli* colony in 5 mL LB medium at 37°C. On the next day, 200  $\mu\text{L}$  of cultured *E. coli* was inoculated in 2 mL of LB medium and grown at 37°C for 6 h until optical density at 600 nm ( $\text{OD}_{600}$ ) reached 0.260 to ensure obtaining good quality of *E. coli* cultures. The cultured was diluted fourfold with LB broth, and then 50  $\mu\text{L}$  of the diluted *E. coli* suspension was added to 1.5 mL sterile ClickFit polypropylene microcentrifuge tubes (TreffLab AG, Degersheim, Switzerland) containing dried Ag NP/chitin composites with the indicated amount of each Ag NPs (2, 1, 0.5, and 0  $\mu\text{g}$ ) adsorbed onto 10 mg chitin as Ag NP/chitin composites, followed by incubation at 37°C for 18 h. After incubation, 1 mL of LB medium was added to the *E. coli* suspensions and mixed well. The suspensions were standed for 3 min to precipitate the Ag NP/chitin composites. Viable cells were enumerated by plating the 50  $\mu\text{L}$  of tenfold serial dilutions of the suspensions onto LB agar (ForMedium Ltd., Hunstanton, England) in a Petri dish (90  $\times$  15 mm) followed by incubation at 37°C for 24 h.

**2.5. Antifungal Activity of the Ag NP/Chitin Composites.** *A. niger* (NBRC105649) (Japan Collection of Microorganisms; Wako, Saitama, Japan) was maintained in molten potato

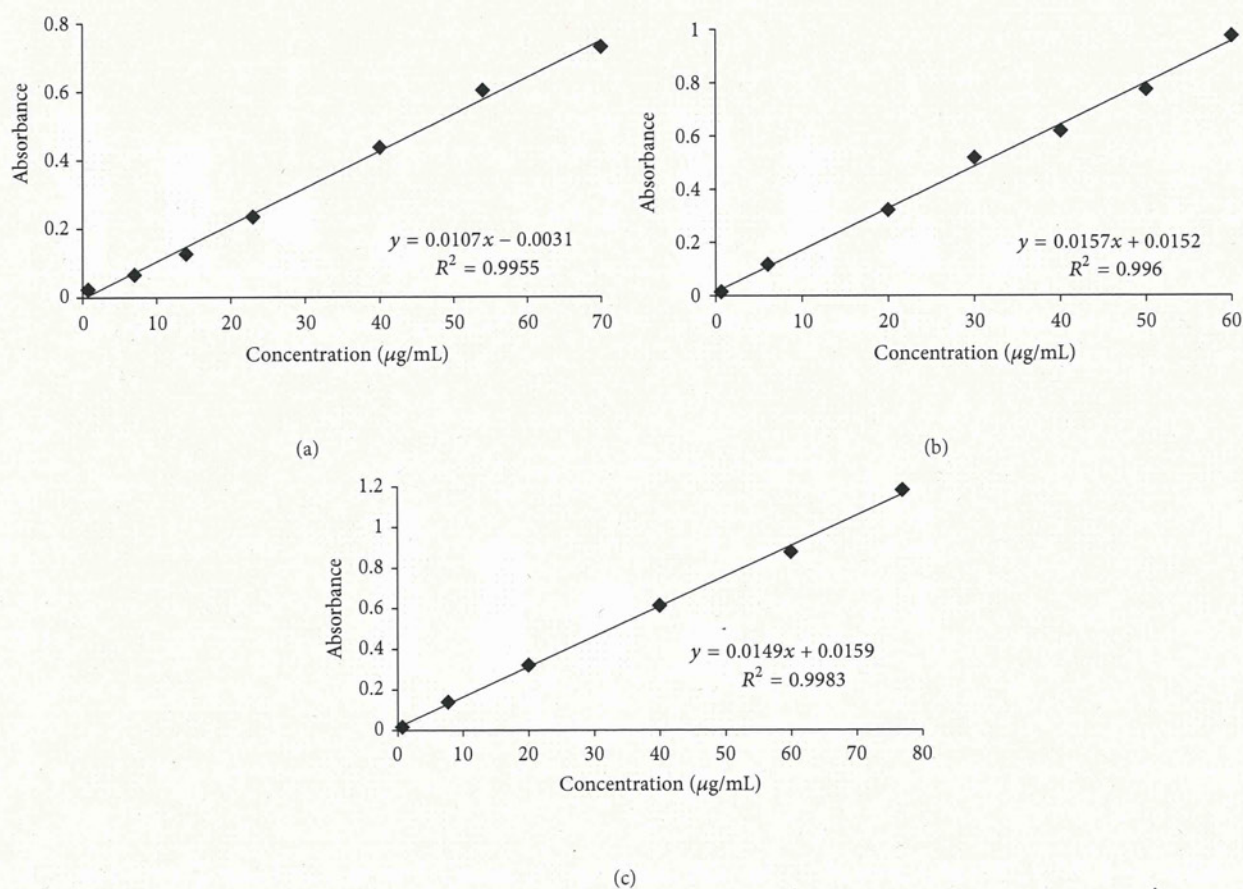


FIGURE 3: The relationship between the peak at 390.5 nm arising from small (a), medium (b), and large (c) spherical Ag NPs and the concentration of each size of Ag NPs.

dextrose agar (PDA) medium (Difco, Becton Dickinson & Co., Sparks, MD, USA). Twenty  $\mu\text{L}$  of *A. niger* spore suspension ( $6.35 \times 10^4$  spores/mL) was inoculated into each well of an agar plate (24-multiwell plate; well diameter: 17 mm (Sumitomo Bakelite Co., Ltd., Tokyo, Japan) containing 20, 10, 5, 2.5, and 1.25  $\mu\text{g}$  of each Ag NP suspension adsorbed onto 4 mg/mL chitin in 1 mL of PDA medium as Ag NP/chitin composites. The plates were incubated in the dark at 25°C for 3 days, then the *A. niger* spores were recovered in 500  $\mu\text{L}$  of 0.3% sterile Tween 80 solution using a platinum loop. The absorbance of each spore suspension after vortexing was measured at 550 nm with a Jasco V-630 spectrophotometer [28].

**2.6. Statistical Analysis.** Statistical analyses were carried out using StatMate III, Macintosh version (ATMS Co., Tokyo, Japan). Statistical significance was assumed when  $P < 0.01$ .

### 3. Results and Discussion

**3.1. Characterization of Ag NP/Chitin Composites.** In this work, chitin with <5% DAc was added as a stabilizer to Ag NP suspensions to remove the produced caramel and prevent agglomeration and precipitation of the Ag NPs. Ag

NP/chitin composites were synthesized by mixing chitin and Ag NP suspensions at pH 7.0 for 30 min. The generated Ag NP/chitin composites were washed twice with distilled water by centrifugation to remove the produced caramel. Typical TEM micrographs of small (a), medium (b), and large (c) Ag NPs (left) and Ag NP/chitin composites (right) are shown in Figure 1. The particle sizes and shapes of the Ag NPs adsorbed onto chitin were identical to those of the original Ag NPs used for synthesizing the composites. The color of the composites was yellow or brown; a darker composite was obtained when larger amounts of Ag NPs adsorbed onto chitin.

We estimated that approximately 5, 15, and 20  $\mu\text{g}$  of the small, medium, and large Ag NPs, respectively, maximally adsorbed onto 1 mg of chitin. Figure 2 shows the UV-Vis spectra of the three sizes of the original Ag NPs in suspension and the spectra of the supernatants of the postreaction mixtures in which various amounts of chitin were reacted with the Ag NPs. The peak at 390.5 nm is representative of the spherical Ag NPs used in this work [12, 24]. There is a relationship between the absorbance at 390.5 nm and the concentration of each size of Ag NPs in the suspension (Figure 3). The amount of Ag NPs remaining in the supernatant of the postreaction mixture decreased as the concentration of chitin in the reaction mix increased (Figure 2). Thus, it appears that Ag

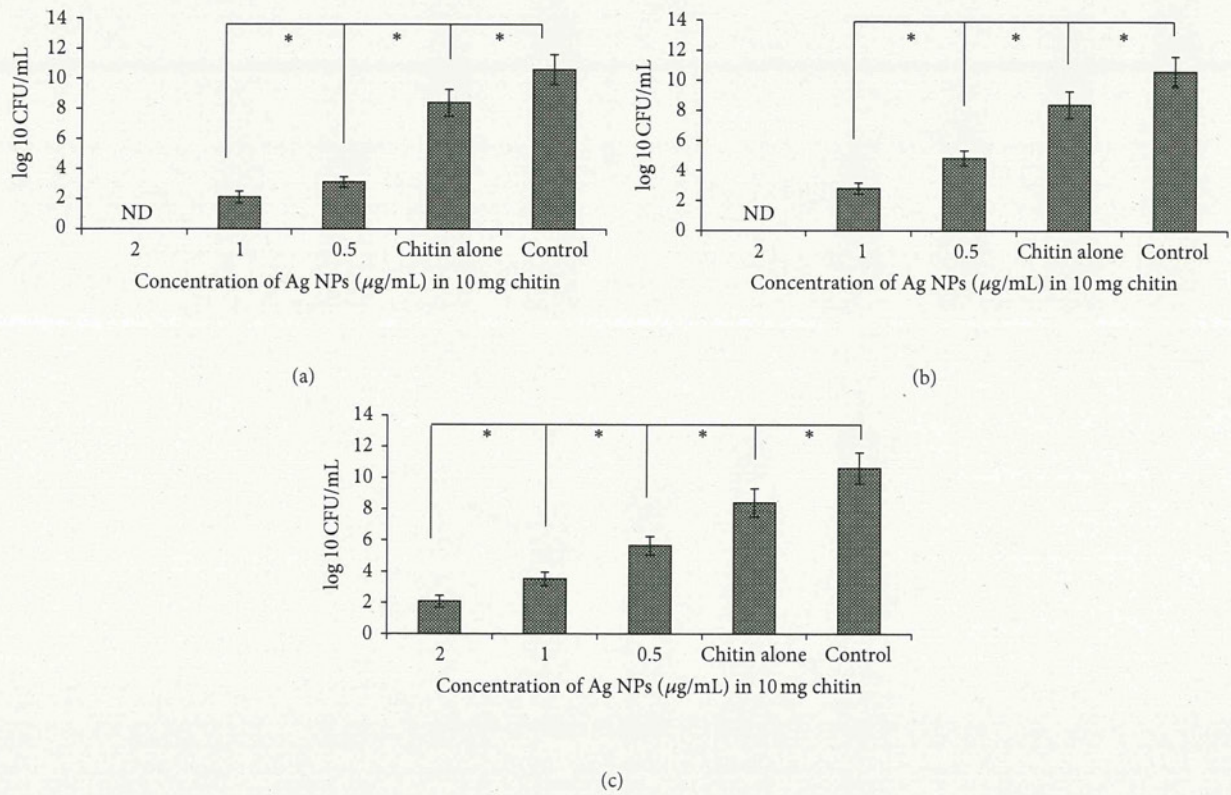


FIGURE 4: Size-controlled Ag NP/chitin composites were evaluated for their bactericidal (against *E. coli*) activities in LB medium. The composites contained various amounts of small (a), medium (b), and large (c) Ag NPs in 10 mg chitin/mL and exhibited a strong bactericidal activity in a concentration-dependent manner. Data are mean value ± standard deviation; *n* = 6. ND means “not detected.” The asterisk (\*) represents statistically significant difference (*P* < 0.01) using two-sample *t*-test.

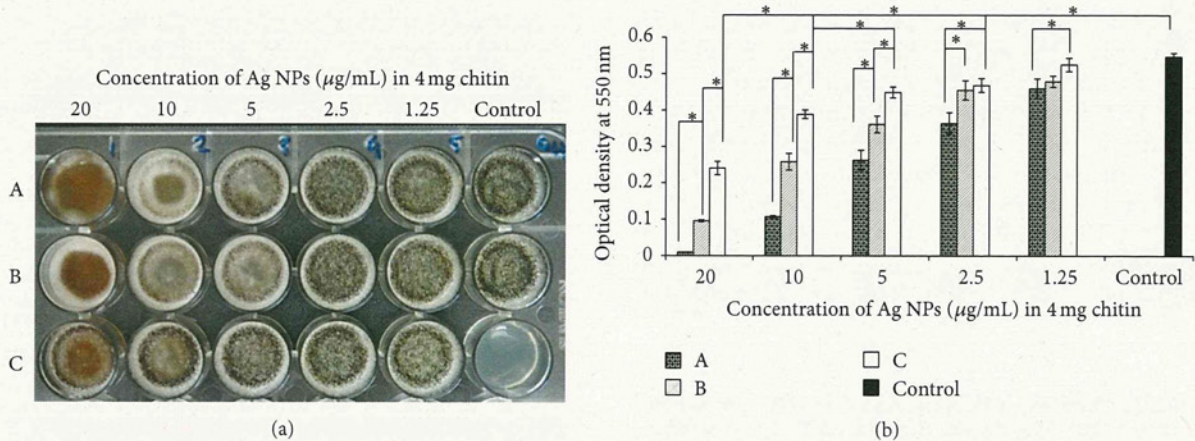


FIGURE 5: Size-controlled Ag NP/chitin composites were evaluated for their antifungal (against *A. niger*) activities by incubating them with the fungi in PDA. When composites with various amounts of small (a), medium (b), and large (c) Ag NPs in 4 mg/mL chitin were added in PDA, the Ag NP/chitin composites exhibited antifungal activity in a concentration-dependent manner. The upper figure is a representative picture for growth of *A. niger* on Ag NP/chitin composite-containing PDA. The lower figure shows spore concentrations in the recovered suspension from the **previous** plates on day 3. Data are mean value ± standard deviation; *n* = 6. The asterisk (\*) represents statistically significant difference (*P* < 0.01) using two-sample *t*-test.

NPs selectively reacted with chitin instead of caramel, and the two components precipitated together upon centrifugation.

**3.2. Antimicrobial Activity of Ag NP/Chitin Composites.** Ag NPs have been found to exhibit interesting antimicrobial activities [13–15, 18, 20], and this phenomenon has gained importance due to the increase of resistance to antibiotics caused by their overuse. The size-controlled Ag NP/chitin composites and chitin alone were evaluated for their bactericidal (against *E. coli*) activities in LB medium. Chitin alone exhibited only weak bactericidal activity (data not shown). The composites with various amounts of small, medium, and large Ag NPs in 10 mg chitin/mL showed bactericidal activity in a concentration-dependent manner for each composite type (Figure 4). Furthermore, the result showed that smaller Ag NPs had higher bactericidal activity.

**3.3. Antifungal Activity of the Ag NP/Chitin Composites.** Size-controlled Ag NP/chitin composites, chitin alone, and Ag/NPs alone were also evaluated for their antifungal (against *A. niger*) activities. The fungi were incubated in molten potato dextrose agar (PDA) with the test materials. Chitin alone had no antifungal activity up to 10 mg chitin/mL (data not shown). Small, medium, and large Ag NPs had concentration-dependent antifungal activity with half-growth inhibitions of about 10, 30, and 40  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , respectively (data not shown). When composites with various amounts of small, medium, and large Ag NPs in 4 mg chitin/mL were added to the fungal cultures, the composites showed antifungal activity in a concentration-dependent manner for each composite type with half-growth inhibitions of about 5, 10, and 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , respectively (Figure 5). Thus, smaller Ag NPs had higher antifungal activity. Furthermore, the Ag NP/chitin composites exhibited higher antifungal activity than Ag NPs or chitin alone.

For all three sizes of Ag NPs used in this work, the antimicrobial activities of Ag NP/chitin composites increased as the amount of adsorbed Ag NPs increased. On a %weight basis, stronger antimicrobial activity was generally evident with Ag NP/chitin composites containing smaller Ag NPs. We surmise that smaller Ag NPs have enhanced antimicrobial activities for two main reasons; (i) the fraction of surface zerovalent silver atoms and silver ions increases with decreasing particle size, and (ii) a greater fraction of surface silver atoms and ions is weakly bonded to the surface of Ag NPs such that they can be easily released into the surrounding medium or can efficiently interact with microorganisms.

The mechanism of the bactericidal action of silver ions is closely related to their interaction with proteins, particularly at thiol groups (sulfhydryl,  $-\text{SH}$ ), which is believed to bind protein molecules together by forming bridges between them. Since these proteins are often enzymes, cellular metabolism is inhibited and the microorganisms die [13, 14]. However, little work has been conducted on the mechanism by which Ag NPs act against bacteria and fungi. It has been reported that the antimicrobial activity of Ag NPs on Gram-negative bacteria is dependent on the concentration of Ag NPs and is tied to the formation of “pits” in the cell walls of bacteria

[13]. The authors of that report speculated that a similar mechanism may degrade the membrane structure of *E. coli* during treatment with Ag NPs [13]. The bactericidal activity of Ag NPs (against *E. coli*) is likely due to their direct binding to microbial envelope glycoproteins, thereby destroying membrane integrity. Ag NPs also exhibit potent antifungal effects (against *A. niger*), probably by destroying membrane integrity [20].

The effect of the size of Ag NPs on their bactericidal and antifungal activities was investigated in the present study. It appears that the binding of Ag NPs to the microorganisms tested depends on the surface area available for the interaction. Smaller Ag NPs have a larger surface area available for the interaction, thus providing stronger antimicrobial activity than larger Ag NPs. Furthermore, an increased number of small Ag NPs are present per unit weight compared to large Ag NPs. However, the present study showed that a lower amount of small Ag NPs could be maximally adsorbed onto chitin powder (5  $\mu\text{g}/1\text{ mg}$  chitin) compared to large (20  $\mu\text{g}/1\text{ mg}$  chitin) and medium (15  $\mu\text{g}/1\text{ mg}$  chitin) Ag NPs. 7

For Ag NP/chitin composites, spatial restriction due to the chitin was expected to prevent or weaken the interaction between microorganisms and Ag NPs. However, the present study indicates that the antifungal activity of the composites is twofold higher than those of Ag NPs alone. When Ag NPs adsorbed onto chitin particles interact with microorganisms, the interaction may increase with the increasing number of Ag NPs in the composites. This is supported by the present experimental results showing a relative relationship between antimicrobial activity and the amount of Ag NPs added to the cultures as Ag NP/chitin composites.

## 4. Conclusion

In this work, we added chitin as a stabilizer to Ag NP suspensions to remove the generated caramel and to prevent agglomeration and precipitation of the Ag NPs. The Ag NPs adsorbed onto the chitin powder were substantially stabilized compared to those in the absence of chitin and were homogeneously dispersed and stably adsorbed. The bactericidal and antifungal activities of the Ag NP/chitin composites increased as the amount of Ag NPs in the chitin increased. Furthermore, smaller Ag NPs (per weight) in the chitin composites provided higher bactericidal and antifungal activities. These results show the potential for chitin as a novel stabilizer and carrier for Ag NPs. Furthermore, the Ag NP/chitin composites might be directly applied as useful antimicrobial materials.

## Conflict of Interests

The authors state no conflict of interests. This study was carried out using commercially available materials and equipment.

## Acknowledgment

The authors would like to thank Ms. Y. Ishiki from Laboratory Center of National Defense Medical College (Tokorozawa, Japan) for her helping with electron microscopy experiment.

## References

- [1] A. Panacek, L. Kvitek, R. Prucek et al., "Silver colloid nanoparticles: synthesis, characterization, and their antibacterial activity," *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 110, no. 33, pp. 16248–16253, 2006.
- [2] A. Kumar, P. K. Vemula, P. M. Ajayan, and G. John, "Silver-nanoparticle-embedded antimicrobial paints based on vegetable oil," *Nature Materials*, vol. 7, no. 3, pp. 236–241, 2008.
- [3] S. Sharma, N. Ahmad, A. Prakash, V. N. Singh, A. K. Ghosh, and B. R. Mehta, "Synthesis of crystalline Ag nanoparticles, (Ag NPs) from microorganisms," *Materials Sciences and Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2010.
- [4] D. Li and S. Komarneni, "Microwave-assisted synthesis of Ag nanophases and their optical properties," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 10, no. 12, pp. 8035–8042, 2010.
- [5] S. Navaladian, B. Viswanathan, T. K. Varadarajan, and R. P. Viswanath, "Microwave-assisted rapid synthesis of anisotropic Ag nanoparticles by solid state transformation," *Nanotechnology*, vol. 19, no. 4, Article ID 045603, 2008.
- [6] S. Navaladian, B. Viswanathan, R. P. Viswanath, and T. K. Varadarajan, "Thermal decomposition as route for silver nanoparticles," *Nanoscale Research Letters*, vol. 2, no. 1, pp. 44–48, 2007.
- [7] N. Vigneshwaran, N. M. Ashtaputre, P. V. Varadarajan, R. P. Nachane, K. M. Paralikar, and R. H. Balasubramanya, "Biological synthesis of silver nanoparticles using the fungus *Aspergillus flavus*," *Materials Letters*, vol. 61, no. 6, pp. 1413–1418, 2007.
- [8] M. Z. Kassae, A. Akhavan, N. Sheikh, and R. Beteshobabrud, " $\gamma$ -ray synthesis of starch-stabilized silver nanoparticles with antibacterial activities," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 77, no. 9, pp. 1074–1078, 2008.
- [9] G. N. Xu, X. L. Qiao, X. L. Qiu, and J. G. Chen, "Preparation and characterization of stable monodisperse silver nanoparticles via photoreduction," *Colloids and Surfaces A*, vol. 320, no. 1–3, pp. 222–226, 2008.
- [10] P. Raveendran, J. Fu, and S. L. Wallen, "Completely "green" synthesis and stabilization of metal nanoparticles," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 125, no. 46, pp. 13940–13941, 2003.
- [11] N. Vigneshwaran, R. P. Nachane, R. H. Balasubramanya, and P. V. Varadarajan, "A novel one-pot "green" synthesis of stable silver nanoparticles using soluble starch," *Carbohydrate Research*, vol. 341, no. 12, pp. 2012–2018, 2006.
- [12] I. O. Sosa, C. Noguez, and R. G. Barrera, "Optical properties of metal nanoparticles with arbitrary shapes," *Journal of Physical Chemistry B*, vol. 107, no. 26, pp. 6269–6275, 2003.
- [13] I. Sondi and B. Salopek-Sondi, "Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for gram-negative bacteria," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 275, no. 1, pp. 177–182, 2004.
- [14] J. R. Morones, J. L. Elechiguerra, A. Camacho et al., "The bactericidal effect of silver nanoparticles," *Nanotechnology*, vol. 16, no. 10, pp. 2346–2353, 2005.
- [15] X. L. Cao, C. Cheng, Y. L. Ma, and C. S. Zhao, "Preparation of silver nanoparticles with antimicrobial activities and the researches of their biocompatibilities," *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, vol. 21, no. 10, pp. 2861–2868, 2010.
- [16] P. Pallavicini, A. Taglietti, G. Dacarro et al., "Self-assembled monolayers of silver nanoparticles firmly grafted on glass surfaces: low Ag<sup>+</sup> release for an efficient antibacterial activity," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 350, no. 1, pp. 110–116, 2010.
- [17] P. Dallas, V. K. Sharma, and R. Zboril, "Silver polymeric nanocomposites as advanced antimicrobial agents: classification, synthetic paths, applications, and perspectives," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 166, no. 1–2, pp. 119–135, 2011.
- [18] J. L. Elechiguerra, J. L. Burt, J. R. Morones et al., "Interaction of silver nanoparticles with HIV-1," *Journal of Nanobiotechnology*, vol. 3, article 6, 2005.
- [19] H. H. Lara, N. V. Ayala-Nuñez, L. Ixtepan-Turrent, and C. Rodriguez-Padilla, "Mode of antiviral action of silver nanoparticles against HIV-1," *Journal of Nanobiotechnology*, vol. 8, article 1, 2010.
- [20] K. J. Kim, W. S. Sung, B. K. Suh et al., "Antifungal activity and mode of action of silver nano-particles on *Candida albicans*," *BioMetals*, vol. 22, no. 2, pp. 235–242, 2009.
- [21] J. P. Wise Sr., B. C. Goodale, S. S. Wise et al., "Silver nanospheres are cytotoxic and genotoxic to fish cells," *Aquatic Toxicology*, vol. 97, no. 1, pp. 34–41, 2010.
- [22] E. Navarro, F. Piccapietra, B. Wagner et al., "Toxicity of silver nanoparticles to *Chlamydomonas reinhardtii*," *Environmental Science and Technology*, vol. 42, no. 23, pp. 8959–8964, 2008.
- [23] L. K. Braydich-Stolle, B. Lucas, A. Schrand et al., "Silver nanoparticles disrupt GDNF/Fyn kinase signaling in spermatogonial stem cells," *Toxicological Sciences*, vol. 116, no. 2, pp. 577–589, 2010.
- [24] Y. Mori, T. Tagawa, M. Fujita et al., "Simple and environmentally friendly preparation and size control of silver nanoparticles using an inhomogeneous system with silver-containing glass powder," *Journal Nanoparticles Research*, vol. 13, no. 7, pp. 2799–2806, 2011.
- [25] C. Shi, Y. Zhu, X. Ran, M. Wang, Y. Su, and T. Cheng, "Therapeutic potential of chitosan and its derivatives in regenerative medicine," *Journal of Surgical Research*, vol. 133, no. 2, pp. 185–192, 2006.
- [26] J. Dutta, S. Tripathi, and P. K. Dutta, "Progress in antimicrobial activities of chitin, chitosan and its oligosaccharides: a systematic study needs for food application," *Food Science and Technology International*, vol. 18, no. 1, pp. 20–31, 2012.
- [27] M. D. Abramoff, P. J. Magelhaes, and S. J. Ram, "Image processing with ImageJ," *Biophotonics International*, vol. 11, no. 7, pp. 36–42, 2004.
- [28] R. Araujo, A. G. Rodrigues, and C. Pina-Vaz, "A fast, practical and reproducible procedure for the standardization of the cell density of an *Aspergillus* suspension," *Journal of Medical Microbiology*, vol. 53, no. 8, pp. 783–786, 2004.

## Composition Comments

1. Please provide valid postal code to the address if possible.
2. We made the highlighted change(s) according to the list of references. Please check similar cases throughout.
3. We added the highlighted part(s) for the sake of clarity. Please check.
4. We made the highlighted change(s). Please check.
5. We assume there is missing word(s) either before or after the highlighted part.
6. Please check the correctness of the highlighted part(s).
7. We added the highlighted part(s) for the sake of clarity. Please check.



## Author(s) Name(s)

It is very important to confirm the author(s) last and first names in order to be displayed correctly on our website as well as in the indexing databases:

### Author 1

Given Names: Vinh Quang

Last Name: Nguyen

### Author 2

Given Names: Masayuki

Last Name: Ishihara

### Author 3

Given Names: Yasutaka

Last Name: Mori

### Author 4

Given Names: Shingo

Last Name: Nakamura

### Author 5

Given Names: Satoko

Last Name: Kishimoto

### Author 6

Given Names: Hidemi

Last Name: Hattori

### Author 7

Given Names: Masanori

Last Name: Fujita

### Author 8

Given Names: Yasuhiro

Last Name: Kanatani

### Author 9

Given Names: Takeshi

Last Name: Ono

### Author 10

Given Names: Yasushi

Last Name: Miyahira

### Author 11

Given Names: Takemi

Last Name: Matsui

It is also very important for each author to provide an ORCID (Open Researcher and Contributor ID). ORCID aims to solve the name ambiguity problem in scholarly communications by creating a registry of persistent unique identifiers for individual researchers.

To register an ORCID, please go to the Account Update page (<http://mts.hindawi.com/update/>) in our Manuscript Tracking System and after you have logged in click on the ORCID link at the top of the page. This link will take you to the ORCID website where you will be able to create an account for yourself. Once you have done so, your new ORCID will be saved in our Manuscript Tracking System automatically.

藤田 真敬  
Masanori FUJITA

防衛医科大学校 医用工学講座  
Department of Medical Engineering, National Defense Medical College

櫛引 俊宏  
Toshihiro KUSHIBIKI  
石原 美弥  
Miya ISHIHARA

平成 25 年の新年を迎え、謹んでお慶び申し上げます。

東日本大震災と福島第一原子力発電所事故の際には、改めて、広域患者空輸の重要性とその問題点が明らかになりました。難病患者や要介護者、重症患者を人工呼吸器や生体監視装置などの医療機器を装着したまま緊急空輸により避難させる必要が生じました。航空機の電子機器から医療機器へ電磁干渉が発生する可能性が指摘されています。またその逆に、医療機器が航空機の電子機器へ何らかの影響を及ぼす可能性もあります。さらに、ドクターヘリや防災ヘリによる患者空輸において、除細動器、輸液ポンプなどの医療機器を搭載する必要があります。筋ジストロフィー患者が使用する呼吸補助器や臓器移植のために渡航する患者が使用する人工呼吸器などの医療機器について個別に航空機に搭載された事例はあるものの、航空機に搭載する医療機器の電磁干渉基準について我が国には統一された指針が無いのが現状です。

病院などで広く使われている医療機器の EMC 規格として国際電気標準会議規格 IEC 60601-1-2 (以下 IEC 規格) があり、その和訳が JIS T 0601-1-2 (以下 JIS 規格) です。国内の航空会社では個々の医療機器の適合試験は原則行っておらず、IEC 規格の適合により、離着陸時を除き使用できるものと常時使用できるものに分類していると言われています。「離着陸時以外は IEC 規格を満たしていれば使用しても良い」という実用的な基準 (航空輸送技術研究センター: 航空機での医療機器利用に関する調査・研究委員会報告書, 2006) と、「離着陸時を含め常時使用可能な条件として、米国航空無線技術委員会規格

RTCA/DO-160E (以下 RTCA 規格) Sec.21 カテゴリー M にある規格以下の医療機器」としています。なお、厚生労働省による医用電気機器の薬事法改正により、JIS 規格への適合が必須となっていることから、平成 18 年 9 月以降に国内で市販された製品は IEC 規格に適合しているため、全て離着陸時以外は使用可能ということになります。また、航空機機内で医療機器を使用する場合、バッテリー駆動が推奨されています。航空会社の旅客機にはパソコン用電源が設置されている場合がありますが、安定的な電源確保および電磁干渉の影響の可能性があるため、医療機器の電源使用は原則できないようです。医療機器の機内持ち込み、使用に関しては現状では航空会社に個別の問合せをする必要があります。

米国の航空会社では IEC 規格および RTCA 規格に準じた取り決めがなされていますが、軍においては MIL-STD-461 という厳しい基準が設けられました。この基準は元来、搭載医療機器に対する基準ではないため、米軍においては民間基準との包括的な比較がなされ、患者空輸機材の効率的な搭載利用を施しています。また緊急事例に対するウェーバー制度も構築されています。我が国において、搭載医療機器による飛行安全の不具合は報告されていませんが、統一された基準や考え方の指針が無いため、電磁干渉の問題を危惧する限り緊急の事例には対応が難しく、医療機器を伴う患者空輸制度の発展の律速段階と成っています。航空機に搭載する医療機器の電磁干渉についても、今後予測される“ネクスト・クライシス”が不幸にも生じる以前に、官民を含めた包括的許容指針の作成が喫緊の課題になっています。

**E**  
Electro

**M**  
Magnetic

**C**  
Compatibility®

No.297

2013 JANUARY

科学技術出版

## 今、なぜ、EMC設計か

### ■ 特集

総勢47名のスペシャリストから学ぶ!

# 2013年 これからのEMC

NEW&NOW 規格規制情報

IEC61326シリーズ概要解説 4

低電圧配電システムで使用する可搬形試験、  
測定及びモニタ装置の試験配置、  
動作条件及び性能評価基準

実践講座

Sパラメータを用いたシグナルインテグリティ解析 8

平衡部品の評価  
(その5:各種平衡部品の実測例)

実践/熱シミュレーションと設計法 11

熱流体シミュレーションを用いた電子機器の  
熱解析のための電子部品のモデル化  
~その1:電子機器熱解析の現状と課題~

ブランド力UPとシェア率UPは設計技術力

<http://www.it-book.co.jp/EMC/>

## 米国の化学，放射線災害における医療戦略

藤田真敬\*，齋藤大蔵\*\*，石原雅之\*\*\*，石原美弥\*\*\*\*，立花正一\*，金谷泰宏\*\*\*\*\*

防医大誌 (2012) 37 (3) : 172-183

**要旨：**平成23年3月11日，我が国を襲った東日本大震災と津波は未曾有の被害を引き起こし，その後の福島第一原子力発電所事故は世界最悪の原子力事故の一つとなった。米国では同時多発テロ（平成13年）以降，国家安全保障省（DHS），連邦緊急管理庁（FEMA）など先進的な危機管理体制が構築され，先進諸国の参考となった。我々は，米国における核・化学兵器による大規模災害時の機関連携，患者空輸，血液製剤の供給等，緊急医療支援について調査した。米国軍においては，CBRNE医療対応の教育は初動を担う警察や消防と共に医療従事者の基本教育である。教範は一般に市販されている。軍病院の救急外来には除染室が備えられ，組立式除染テントの設営により特殊災害への迅速な対応を可能にする。実際の利用率は5%以下という医薬品や医療機材の備蓄は国の方針として実施し，緊急時には世界各所に空輸する。輸送需要の急増には民間航空機を動員する。機材の規格や治療は統一され，医療従事者は平時有事を問わず支障なく使うことができる。同盟国と定期的な訓練を行い緊急時のスムーズな連携を可能にしている。我が国では献血センター等にしか保有していない血液成分分離装置は各軍病院に設置され，輸血確保に貢献している。医療や公衆衛生活動の近代化を目指して公共機関，研究所や企業と連携は各所で行われ，成果や指針はインターネットに公開される。広報は新たな連携と開発を生み出す戦略的広報として位置づけられている。

索引用語： 災害 / 備蓄 / 戦略的広報 / 除染 /  
CBRNE / 患者空輸

## 緒 言

平成23年3月11日，我が国を襲った東日本大震災と津波は未曾有の被害を引き起こし，その後の福島第一原子力発電所事故は世界最悪の原子力事故の一つと言われている<sup>1,2)</sup>。米国同時多

発テロ（平成13年）以降，大規模災害・テロリズムに対する関心が国際的に高まっていたが，今回の大震災はそれに拍車をかける形になった。米国では既に国家安全保障省（Department of Homeland Security: DHS），連邦緊急管理庁

\*防衛医科大学校防衛医学研究センター異常環境衛生研究部門  
Division of Environmental Medicine, National Defense Medical  
Research Institute, National Defense Medical College,  
Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan

電話 04-2995-1626 Fax 04-2991-1612  
e-mail fujitama@ndmc.ac.jp または bxb01424@nifty.com

\*\*防衛医科大学校防衛医学研究センター外傷研究部門  
Division of Basic Traumatology, National Defense Medical  
Research Institute, National Defense Medical College,  
Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan

\*\*\*防衛医科大学校防衛医学研究センター医療工学研究部門  
Division of Biomedical Engineering, National Defense Medical  
Research Institute, National Defense Medical College,  
Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan

\*\*\*\*防衛医科大学校医用工学講座  
Department of Medical Engineering, National Defense Medical  
College, Tokorozawa, Saitama 359-8513, Japan

\*\*\*\*\*国立保健医療科学院健康危機管理研究部  
Department of Health Crisis Management, National Institute of  
Public Health, Wako, Saitama 351-0197, Japan

平成24年2月16日受付

平成24年4月16日受理

(Federal Emergency Management Agency: FEMA) など先進的な危機管理体制が構築され、先進諸国の参考となっている。本研究では、昨年度に引き続き米国における生物剤以外の CBRNE (Chemical (化学), Biological (生物), Radiological (放射性物質), Nuclear (核), Explosive (爆発) の頭字語) による大規模災害時の機関連携、患者空輸、血液製剤の供給等に関する取組みについて調査した。

平成23年11月14日～23日、米国テキサス州サンアントニオ市における陸軍キャンプ・フォートサムヒューストン<sup>3)</sup>にあるブルック陸軍メディカルセンター<sup>4)</sup>(Brook Army Medical Center: BAMC)、陸軍外科学研究所<sup>5)</sup>(US Army Institute of Surgical Research: USAISR)、陸軍衛生学校<sup>6)</sup>(United States Army Academy of Public Health)、ラックランド空軍基地にあるウィルフォードホール・メディカルセンター<sup>7)</sup>(United States Air Force Wilford Hall Medical Center)の施設訪問による実地調査を行った。同地は、州立大学医学部、陸軍、空軍の大規模施設が連携した医療を行っており、戦時・災害時の患者空輸の世界的ネットワークおよび大災害における重症熱傷や外傷の治療拠点である。また今回は、イリノイ州ベルビルにあるスコット空軍基地内<sup>8)</sup>の空軍航空輸送司令部<sup>9)</sup>医務官室(United States Air Force Air Mobility Command, Office of Command Surgeon General)と米国輸送軍<sup>10)</sup>患者空輸司令部(United States Transportation Command, Global Patient Movement Requirement Center: USTRANSCOM GPMRC)を訪問した。同地は災害時や戦時に於ける世界規模の患者空輸統制を行い、CBRNE災害時にもその能力を発揮する米国の患者空輸拠点である。昨年度の訪米成果<sup>11)</sup>を踏まえ、更に詳細な調査を行った。

これらの施設の訪問調査に加えて、放射線除染などの基準や活動指針作成の根拠となる資料の入手や指針を提言する研究所や機関を調査した。

### 1. 米国軍の CBRNE 対策

米国軍においては、CBRNE 医療対応の教育は初動を担う警察や消防と共に医療従事者の基本教育として位置付けられている。これらの教

範は一般に市販され、インターネットからの入手も可能である<sup>12-19)</sup>。病院の救急外来には除染室が備えられ、組立式の除染テントの設営により特殊災害への迅速な対応を可能としている。医薬品や患者空輸機材を世界の各所に備蓄し緊急時の空輸を可能にしている。実際の利用率は5%以下というこれらの医薬品や医療機材の備蓄は、非効率を覚悟で国の方針により定められている<sup>20)</sup>。機材の規格はほぼ統一され、国内における医療従事者は支障なく使うことができる。また定期的な同盟国との訓練を行うことで、緊急時の同盟諸国とのスムーズな連携を可能にしている。我が国においては血液センターや献血センターにしか保有していない血液成分分離装置<sup>21)</sup>が各軍病院にも設置され、感染症検査の設備も整えられている。献血確保に大きく貢献している。世界各地に兵士を派遣し、傷病者の絶えない米国軍にとっては血液製剤の確保は重要な課題である。施設訪問により各種除染介入基準や行動指針に関する情報<sup>22-30)</sup>を得ることができた。世界の専門機関や研究所から原子力事故や核爆発における対応の指針や除染の指針がインターネットに公開されている。これら国際基準の学習と分析により、我が国独自の体制整備をすることで、特殊災害への対応が容易になるであろう。

### 2. 陸軍外科学研究所 The United States Army Institute of Surgical Research

陸軍外科学研究所<sup>5)</sup>では、外傷、救急救命関連の医師達が研究を行っている。酸素化効率の良い新開発の人工肺(送血・脱血とも静脈で可能)の性能試験をプタで行っているところを見学できた。専属の獣医や臨床工学技師が外科処置や試料分析を行っている。戦傷者や外傷患者に対して、企業との共同出資で新規医療器具の開発を行っている。特に熱傷患者の治療に力を入れており、熱傷部位への皮膚再生を促進させるため幹細胞をスプレーで塗布する研究<sup>31)</sup>や、血小板の止血機能を維持しながらフリーズドライ法により長期保存する手法の開発<sup>32)</sup>などを行っているのは興味深かった。動物の集中治療室やマルチスライズ CT (Aquilion®, 東芝製)などが動物研究専用に備えられている。

熱傷専用に階が使用されており、その階だけ

で全ての検査、治療ができる。熱傷専用集中治療ベッドが16床あり、正看護師が65名、准看護師が30名、事務担当、清掃員、医師が所属している。この巨大な研究所は地域最大のブルック陸軍メデイカルセンターに隣接し、テキサス大学サンアントニオ校ヘルスサイエンスセンター<sup>33)</sup>外科部門や救急部門などと兼任や人事交流することでマンパワーを維持している。人事交流のネットワークが印象的であった。

3. ブルック陸軍メデイカルセンター Brook Army Medical Center (San Antonio Military Medical Center)

ブルック陸軍メデイカルセンター<sup>4)</sup>は新築建て替えを行い、2011年12月に新規開設した。間もなく開院の施設を見学する機会に恵まれた。当初サンアントニオ市には空軍のウィルフォードホール・メデイカルセンター<sup>7)</sup>と陸軍のブルック陸軍メデイカルセンターがあったが、空軍病院は外来患者対応部門のみ残し、ブルック陸軍メデイカルセンターに統合され、新施設は名称を変更し、サンアントニオ・ミリタリー・メデイカルセンター (San Antonio Military

Medical Center: SAMMC) となっている。救急部長には、筆者が指導を受けた空軍航空宇宙医学校の重症患者空輸チーム (Critical Care Air Transport Team: CCATT) コース教育部長、空軍病院患者空輸部長を歴任したキング大佐が就任している。

救急部にはベッドが60床有り (Fig. 1.)、医師以外に正看護師、准看護師など合わせて350人のスタッフが所属している。外傷、産科小児、急性疾患など大きく4つの区画に分かれている。外来入り口には除染用シャワー (Fig. 1.) を備えており、屋上にはヘリポートがある (Fig. 1.)。救急外来では事務担当者、トリアージ担当医師及び看護師、病歴治療内容の記録担当看護師、点滴確保や応急処置担当看護師、治療総括指揮担当医師が各々に役割分担を担うため、医師に業務が集中することなく治療が進んでいく。大災害と大量傷者発生に十分耐える救急外来機能を持ち、CT検査、各種検査室は救急外来に隣接している。非常に迅速な診断、治療方針の決定がなされる設備配置となっている。熱傷専用の階には16の熱傷専用集中治療室

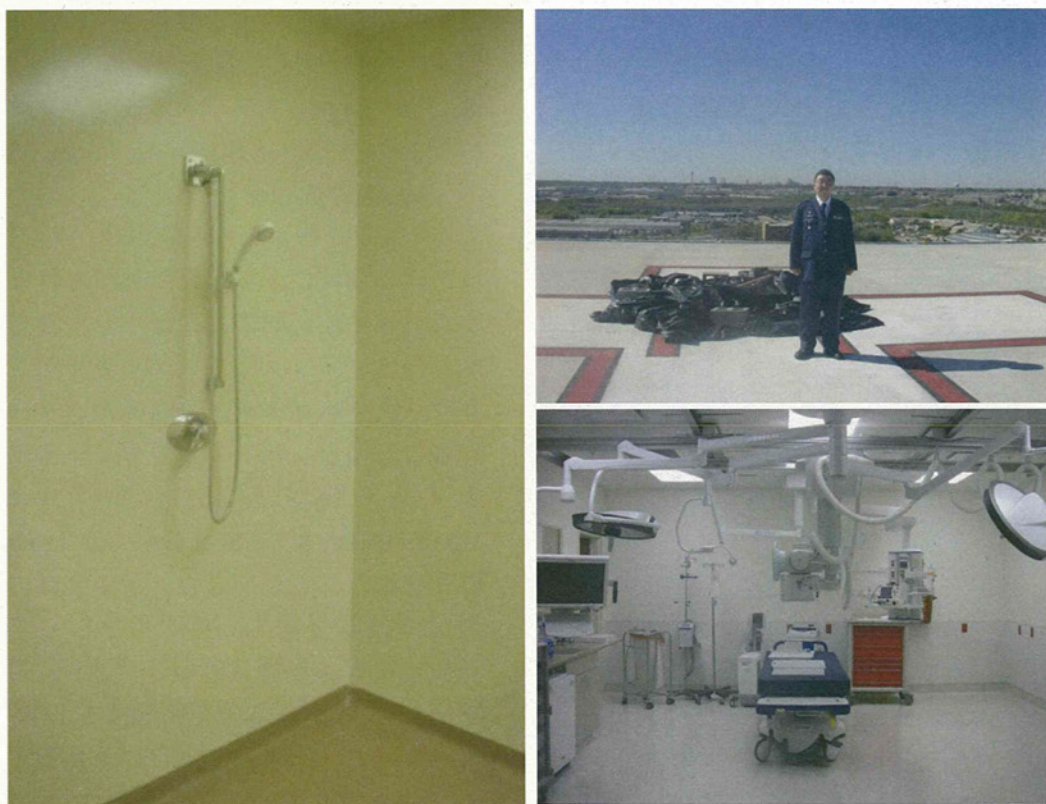


Fig. 1. San Antonio Military Medical Center  
Left: Decontamination Room, Upper Right: Heliport, Lower Right: Emergency Room

があり、95名の看護師が交代で勤務する。手術室や検査室は同じ階にあり、階を移動する必要はない構成となっており、専門の清掃員がいて感染予防に配慮がなされている。

マンパワーの規模に驚かされるが、近隣の民間病院や大学病院のスタッフが兼任し、退職した医師の再雇用と、法律で規定された卒後教育のための若い医師がいるため、この規模が維持できるという。患者の搬送は救急車やヘリコプターにより行うが、患者空輸が必要な場合はサンアントニオ航空統制局 (San Antonio Aircraft Command) に依頼する。これらの管轄は消防署が行う場合が多いが都市により制度は異なるという。

#### 4. 陸軍衛生学校 United States Army Academy of Public Health

United States Army Academy of Public Health<sup>6)</sup>を陸上自衛隊などでは米国陸軍衛生学校と呼称するためこの訳語を用いた。ここには外国からの軍人教育を行う国際教育部がある。国際教育部長オスカー氏の計らいで、CBRNE 除染教育担当の公衆衛生部教官の方々と意見交換を行うことができた。特殊災害における準備態勢は米国の軍隊では基本教育の一環として行われている。

教官の中には軍人として大佐や少佐として勤務歴のある医師や技術者が、専門教育能力や技術に応じて教官や顧問として再雇用され、十分なマンパワーを維持している。

各種教範の紹介をしてもらい、実物を入手した<sup>12-19)</sup> (Fig. 2.)。我が国においては医学教育の

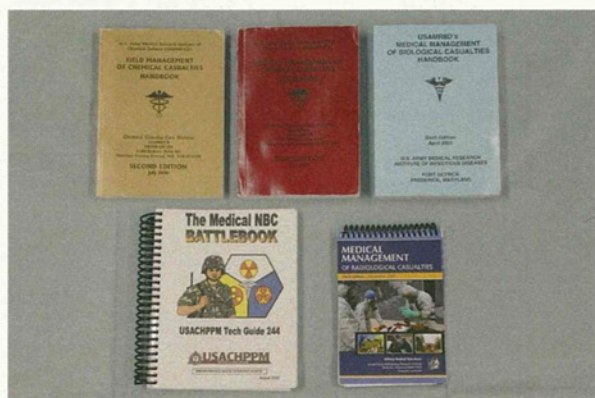


Fig. 2. Military Textbooks for CBRNE Medical Response

テーマとして一般に普及していない放射線災害や核爆発、化学剤や生物剤による災害、爆風による傷病者対応などの教育は医療従事者や救助担当者への基本教育となっており、米国がいかに幅広い災害医療を視野に入れているかが理解できた。教範は一般に市販されて、Amazon.comなどの書籍の通信販売システムから入手が可能であり、広く国内外の専門家や教育担当者に普及している。我が国においても、これらの特殊な災害を現実起こりうる災害として認識し、緊急時対応のため広く普及することが望まれる。

さらに、これらの教範の作成や改訂にあたり情報源となる国内外の研究所や専門機関のデータベースなどの紹介を受けることができた<sup>34-43)</sup>。過去に自衛隊からの各種問い合わせや受講も幾度となく受け入れた経験があり、これまでに提供した情報を日本国内で共有をする情報共有システムを構築してはいかかという助言も受けた。米国においては、官公庁における研究成果のうち公開可能な部分については、例え軍の資料と言えども広く情報公開を行う努力がなされており、このような関連研究機関の意見交換や情報共有を可能にする取り組みは各分野の研究促進に有効であり、我が国も見習うべきである。

#### 5. 空軍ウィルフォードホール・メデイカルセンター United States Air Force Wilford Hall Medical Center

ウィルフォードホール・メデイカルセンター<sup>7)</sup>は予算の削減により、入院施設を伴う総合病院から外来診療部門のみに縮小し、救急医療や入院部門はブルック陸軍メデイカルセンターとテキサス大学ヘルスサイエンスセンターに統合されることになった。ウィルフォードホール・メデイカルセンターでは重症患者空輸部 (Department of Critical Care Air Transport) の概要を知ることができた。米軍では、患者空輸用医療機器を揃え、標準化を行っている<sup>44-51)</sup>。新規にモニター付気管挿管装置<sup>54)</sup>、吸引式脊椎固定板<sup>55)</sup>などの開発を企業や他機関と共同で行っている。筆者は2006年に重症患者空輸チーム (CCATT) コースを受講したが、上記の他、その頃には無かった持続注入装置<sup>56)</sup>や下肢深部静脈血栓症予防のための圧迫装置<sup>57)</sup>、陰圧補

助閉鎖治療装置<sup>58)</sup>などが新たに装備されていたことに感銘を受けた。

6. 米空軍航空輸送司令部医務官室, 米運輸軍司令部患者空輸指令室 Office of Surgeon General/USAF Air Mobility Command, Global Patient Movement Requirements Center/US Transportation Command  
セントルイス国際空港から約50kmのベルビルにあるスコット空軍基地<sup>8)</sup>を見学した。ここでは空軍輸送司令部医務官のイデインス准将

に対応していただき, 米空軍航空輸送司令部医務官室, 米運輸軍司令部 患者空輸指令室の概要説明と施設見学を行った。

米運輸軍の患者空輸司令部は全世界の患者空輸統制を行っている。国家規模の災害や戦時において, 患者空輸の指揮所となる施設である。航空機の利用調整は空軍第618航空宇宙作戦センター<sup>59)</sup> (618th Air and Space Operations Center, 旧称 Tanker Airlift Control Center) と行う。患者収容の可能なベッドの利用状況の集計をリアルタイムに行っており, どの地域に収容余力があるかについて常に情報共有がなされている。災害対応などの作戦に参加した全ての隊員から教訓を抽出している。各概要説明では米軍が今回の東日本大震災支援を行うにあたり教訓を提示している。Table 1に米空軍における教訓事項を示す。

米空軍では指定された基地に各種患者空輸機材や救急医薬品数100人分の備蓄があり, 非常時には即座に空輸する準備態勢が整っている。この内容は米国家災害医療制度<sup>20)</sup> (National Disaster Medical System) に示されていて, 米国内及び世界各地に指定された患者空輸機材備蓄倉庫 (Patient Movement Items Warehouse) に備蓄が行われている (Fig. 3)。その概要は米

Table 1. US Military Lessons Learned from the Disaster Management  
米軍における教訓事項

- ・放射線の除染基準について定まったものが無い。
- ・航空機の除染方法について定まったものが無い。
- ・東日本大震災における除染活動を再検討し, 国際支援活動における放射線除染の基準の設定の必要がある。
- ・化学剤, 生物剤の除染について確定した基準が無い。
- ・特殊災害に対応する隊員の健康管理基準が無い。
- ・CBRNE 対応, 除染活動に対する具体的かつ詳細な指針が無い。



Fig. 3. Stockpile of Medical Equipment and Intensive Care Drugs



空軍の文書にも示されている<sup>60, 61</sup>。この準備態勢により、核爆発などの広域災害が生じた場合には被災地域外の近隣の倉庫から医療機材や医薬品の輸送を可能にする。核爆発により生じる強力な電磁パルスは近隣の電子機器を麻痺させるが、この対応の概略も公表されている<sup>24, 62, 63</sup>。医薬品には有効期限があり、期限内の消費は5%以下と一見非効率で過剰な備蓄と思われがちだが、非常時の対応のために大きな予算を割いていることに感銘を受けた。特殊な患者空輸に用いる患者隔離カプセル<sup>64</sup>、吸引式脊椎固定板<sup>65</sup>、乳幼児空輸システム<sup>65</sup>なども合わせて見学する機会を得た。これらの機器の開発は他省庁や企業と共同で行っている。

患者空輸において医療機材と航空機器の電磁干渉が生じる場合があり、飛行安全に支障を来す場合があるとされている<sup>66</sup>。このため電磁干渉試験に合格し、患者空輸時に安全を確認した医療機器のリストが作られている<sup>67</sup>。通常これら安全確認の済んだ医療機器を用いるが、医療機器の多さや新製品の出現から全ての医療機器と航空機の組合せ全てについて電磁干渉試験を行うことは事実上難しく、安全確認の済んでいない医療機器を用いて患者を空輸しなければ成らない事例が生じる。この場合に電磁干渉試験を行っていない医療機器を短時間の簡易評価で

使用を許可するウェーバー制度がある<sup>67</sup>。機器の電圧、重さ、製品番号などの申請により、過去に許可された機器との比較から、安全性を確認した後に限定的に許可される。ウェーバーは航空機の通信に限定して支障を来すのか、飛行制御に支障を来すのかなどを実運用に則して考慮の上で、患者空輸司令部が判定を行う。我が国にはこの制度は無く、制度を立ち上げる知見も非常に少ない。このことは患者空輸を躊躇する一因と思われ、今度制度の導入や導入の基礎を築くべき分野と考えている。

基地内の病院には化学剤事故などに対応する除染チームがあり、除染テント<sup>68</sup>の設営訓練を見学する機会を得た (Fig. 4.)。訓練では24人が除染テントを15分で設営した。このテントは災害現場や病院近隣で防護服を着て作業をしなければならず、重労働のため交代要員を含めて100人のチーム編成である。散水栓の水を加温し37~40℃のシャワーと市販の液体石鹼による除染訓練を行っていた。1時間あたり歩行患者10~15人、担送患者6~10人の除染が可能である。汚染水は回収し、汚染の原因物質の分析・特定を行う。2次災害の予防から除染中の医療行為は圧迫と駆血による止血しか行うことができない。汚染物質の分析と特定には汚染物質の予測と診断確認を行う検査キット、安全濃



Fig. 4. Decontamination and Live Demonstration for a Chemical Disaster

度のデータベースが必要になる。市販品の化学物質による事故の場合には、製品に添付されている製品安全データシート<sup>69, 70)</sup>(MSDS)に記載されている安全基準などが重要な参考となる。

また、実際の使用事例は無いが、感染症患者などを隔離して空輸できる隔離カプセルなども開発されていた(Fig. 5)。軍と米国疾病予防管理センター<sup>43)</sup>(Centers for Disease Control and Prevention: CDC)、国防高等研究計画局<sup>71)</sup>(Defense Advanced Research Projects Agency: DARPA)の共同開発という。

病院では献血志願者の血液を濃厚赤血球と血漿成分に分ける血球成分分離装置を備えていて、成分分離を行い長期保存が可能な血液製剤を戦地や他の基地の病院に空輸している。この血液供給制度は在日米軍横田基地<sup>72)</sup>(東京都福生市)にも備えられている。災害時には物資空輸を行う航空機や船舶の不足することが予測され、そのためにあらかじめ、民間航空会社の航空機を動員する制度：民間予備航空輸送部隊<sup>73)</sup>(Civil Reserve Air Fleet: CRAF)や船舶を動員

する制度：国防予備船隊<sup>74)</sup>(National Defense Reserve Fleet: NDRF)を整えている。

## 考 察

米国の災害対応制度構築の基盤は大きな予算と人的資源の投入である。実際の利用率が5%という緊急医療機材や薬剤の大量備蓄を国や軍の方針として行う姿勢は、我が国にはそのまま適応し難い考え方であろう。これらの調査内容の全容を我が国の制度に導入することは予算や財源の制約を伴い困難を伴うことが予測される。しかし東日本大震災と福島第一原子力発電所事故という未曾有の大災害を体験した我が国は、これまで大災害に対する準備や備えが足りなかったと感じている国民が多いのも事実である。災害や有事への対策が圧倒的に進んでいる米国の諸制度・体制から学び、我が国の状況に見合った体制整備を行うことは重要である。

### 1. 軍民一体となった災害対策シナリオ

米国では連邦緊急管理庁や国家安全保障省などが中心となり、軍組織も入れた軍民一体の大



Fig. 5. Patients Isolation Unit for Readiness

規模災害やテロに対する対応シナリオを策定している。これに基づき体制整備を進め、緊急事態に対応すべく器材や医療品の大量備蓄、患者の大規模空輸体制、航空機が不足した場合の民間機活用の方法等を確立している。我が国でも先の阪神大震災で自衛隊があまり活用されなかった反省を踏まえ、大規模災害時の消防、警察、自衛隊など各種リソースの有効活用や連携が進み、今回の東日本大震災では10万人規模の自衛隊員の派遣が要請されるなど、対策は相当に進んでいる。しかし米国の連携やネットワークの状況を見ると、さらに改善の余地があると思われる。

## 2. 情報の徹底した公開による情報・意識の共有

米国では災害・テロ対策に関する情報は、例えば軍の情報でもできるだけ国民に公表するように努めている。放射線、化学剤、生物剤などの特殊兵器による傷害の治療法に関する教材は、自衛隊では「秘文書」や「注意文書」などの公開制限文書として取り扱いがちだが、米国では一般に市販されており、インターネット等でもアクセス可能なものが多いことに驚かされた。同様に核爆発に関する対応指針や核爆発後に起こるとされる電磁パルスによる被害（停電など）緩和の指針を公表している。我が国においてこのような資料は公表を躊躇する傾向が見られるが、躊躇なく皆で情報の共有を行い議論する体制が緊急時の連携を強めるものと考えられる。核爆発において生じる電磁パルスは医療機器に関わらず、全てのライフラインや通信インフラの機能停止を起こしうる問題である。核兵器を保有しない我が国においては研究や議論が希少な分野と考えられる。国家安全保障の観点からも現在行われている CBRNE テロ対策関連の厚生労働省研究班などを発展させた専門家チームの立ち上げを要するものと思われる。我々の調査内容を我が国の制度に効率的に導入するにはこれらの情報共有の後に更なる考察を必要とする。我が国の現状も踏まえた議論を積極的に行っていきたい。

## 3. 日常の教育・訓練

我が国も災害対応訓練は、以前よりは頻繁に、かつ真剣に、実際に起こり得る状況をシミュレーションした形で行われるようになってき

た。しかし米国では、我が国ではそれほどカバーできていない特殊な状況、すなわち CBRNE の除染に関する教育や訓練に関しても日常的に行われている。我が国はサリン事件で化学防護対策、福島原発事故で放射線防護対策の重要性を、それぞれ後付けで知ったが、今後はこのような状況を「起り得る災害」として捉え、日頃から準備しなければならない。

## 4. 医療器材や薬剤、取り扱い手順の標準化

米国では例えば患者空輸や除染対策などにおいて、使用する医療器材や薬剤、その取り扱い手順を標準化し、一旦教育訓練を受ければ、いつでも、どこでも、誰とでも、同じように支援活動ができるように配慮されている。一方我が国では、消防、警察、自衛隊、民間医療チームで、それぞれ使用する機材や薬剤の標準化の努力はほとんどなされておらず、緊急時の協同活動の妨げになると思われる。自衛隊の内部でさえ、陸海空の衛生部隊でそれぞれ使用する器材は違っており、スムーズな患者医療支援の妨げになり得る。

特殊災害の教育情報の共有や普及が効率的に行われていることや、緊急時の治療手順や機材や薬剤の標準化が広く行われていることは、我が国の緊急医療体制を強固にし、平時医療の効率化や予算削減にもつながる可能性があり普及を推奨したい。

## 総 括

米国の放射線災害、大規模災害における連携、患者空輸、血液製剤の供給に関する先進的な制度を調査した。

米国の制度構築の基盤は大きな予算と人的資源である。また災害準備に予算をあてがうという強固な方針が感じられる。我々の調査内容を我が国の制度に効率的に導入するにはこれらの情報共有の後に更なる考察を必要とする。我が国の現状も踏まえた議論を積極的に行っていきたい。推奨したい事象、新たな専門家チームの立ち上げを要する分野の提言を行った。次年度における更なる調査研究を行いたい。

聞き取り調査の特性から詳細が不十分となり、報告事項の根拠が不明確となる危惧から、可能な限り公表されている文書、文献を添えて

記載した。本報告書が我が国の安全保障を医学面から保証する一助となれば幸いです。

## 謝 辞

米国施設訪問にあたり、防衛医学研究センター事務部をはじめ防衛省関係各位、厚生労働省保健医療科学院健康危機管理研究部をはじめ関係各位、外務省関係各位の御支援をいただき、米国において多くの方々に御支援をいただきました。心よりお礼を申し上げます。

本調査研究は平成23年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）「バイオテロ以外の CBRNE テロ対策に対する効果的な対策の検証と国際連携ネットワークの活用に関する研究（課題番号：H22-健危-一般-012）：研究代表者：金谷泰宏」の補助を受けて実施された。本稿の内容の一部は公開シンポジウム「CBRNE テロ災害にいかに対応するかー米国における CBRNE 災害の医療対応と医療資材等の備蓄と配布」（早稲田大学総合研究機構プロジェクト公共交通安心安全対策研究所主催，於 早稲田大学 小野記念講堂，平成24年2月3日）及び防衛医科大学校 戦傷学セミナー「米国の化学，放射線災害における医療戦略」（平成24年3月5日）において発表した。

本稿に述べた内容は著者らの個人的見解であり，関係官公庁等の公的な見解ではない。

## 文 献

- 1) 内閣府 緊急災害対策本部 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について，平成24年1月10日  
<http://www.kantei.go.jp/saigai/pdf/201201101700jisin.pdf>（参照 2012-01-24）。
- 2) 経済産業省 原子力安全・保安院，東日本大震災の影響について。  
[http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake\\_index.html](http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake_index.html)（参照 2012-01-24）。
- 3) Welcome to Fort Sam Houston, Joint Base San Antonio,  
<http://www.samhouston.army.mil/>（accessed 2012-01-24）。
- 4) U.S. Army Medical Department, Brook Army Medical Center,  
<http://www.bamc.amedd.army.mil/>（accessed 2012-01-24）。
- 5) The United States Army Institute of Surgical Research,  
<http://www.usaisr.amedd.army.mil/>（accessed 2012-01-24）。
- 6) U.S. Army Medical Department, AMEDD Center & School, Academy of Health Sciences,  
<http://www.cs.amedd.army.mil/ahs.aspx>（accessed 2012-01-24）。
- 7) U.S. Air Force, 59th Medical Wing,  
<http://www.whasc.af.mil/>（accessed 2012-01-24）。
- 8) U.S. Air Force, Scott Air Force Base,  
<http://www.scott.af.mil/>（accessed 2012-01-24）。
- 9) U.S. Air Force, Air Mobility Command,  
<http://www.amc.af.mil/>（accessed 2012-01-24）。
- 10) Unites States Transportation Command,  
<http://www.transcom.mil/>（accessed 2012-01-24）。
- 11) 藤田真敬，齋藤大蔵，徳野慎一，石原雅之，立花正一，金谷泰宏，米国の化学，放射線災害における医療危機管理体制に関する調査報告。防衛医科大学雑誌 36：217-225，2011。
- 12) U.S. Army Medical Research Institute of Chemical Defense (USAMRICD), Field Management of Chemical Casualties Handbook, second edition, July, 2000.  
[https://www.rke.vaems.org/wvems/Libraryfiles/Dis/E\\_04.pdf](https://www.rke.vaems.org/wvems/Libraryfiles/Dis/E_04.pdf)（accessed 2012-01-24）。
- 13) U.S. Army Medical Research Institute of Chemical Defense (USAMRICD), Medical Management of Chemical Casualties Handbook, third edition, July, 2000.  
<http://www.operationalmedicine.org/TextbookFiles/redbook2000.htm>（accessed 2012-01-24）。
- 14) U.S. Army Medical Research Institute of Infectious Disease (USAMRIID), USAMRIID's Medical Management of Biological Casualties Handbook, sixth edition, April 2005.  
<http://www.usamriid.army.mil/education/bluebook/pdf/USAMRIID%20BlueBook%206th%20Edition%20-%20Sep%202006.pdf>（accessed 2012-01-24）。
- 15) U.S. Armed Forces Radiology Research Institute (AFRRI), Medical Management of Radiological Casualties, third edition, June 2010.  
<http://www.usuhs.mil/afri/outreach/pdf/3edmmrchandbook.pdf>（accessed 2012-01-24）。
- 16) U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine (USACHPPM) The Medical NBC Battlebook Technical Guide 244, August 2002.  
<https://www.cbrniac.apgea.army.mil/Products/Catalog/Pages/ViewItem.aspx?ID=SOAR-00-01>（accessed 2012-01-24）。
- 17) U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine (USACHPPM) The Medical NBC Battlebook Technical Guide 244, May 2000.  
<http://www.operationalmedicine.org/TextbookFiles/MedicalNBCBattlebook.htm>（accessed 2012-01-24）。
- 18) Stuhmiller JH, Blast injury, Translating Research into Operational Medicine, Borden Institute Monograph Series, US Army Medical Department Center & School, April 2008.  
[http://www.bordeninstitute.army.mil/other\\_pub/blast/Blast\\_monograph.pdf](http://www.bordeninstitute.army.mil/other_pub/blast/Blast_monograph.pdf)（accessed 2012-01-24）。